LA TEORIA ELETTRICA

ED

IL PROBLEMA DELL'UNIVERSO

CONSIDERATO DAL PUNTO DI VISTA FISICO

DA

G. W. DE TUNZELMANN, B. Sc.

MEMBRO DELL'ISTITUTO DEGLI INGEGNERI ELETTRICI
GIÀ PROFESSORE DI FISICA E D'ASTRONOMIA SULLA R. NAVE-SCUOLA "BRITANNIA,,
DARTMOUTH

CON APPENDICI ED ILLUSTRAZIONI

PRIMA VERSIONE DALL'INGLESE

DI

EDOARDO DI SAMBUY

TORINO
FRATELLI BOCCA, EDITORI
Librai di S. M. il Re d'Italia.

ROMA, Corso Umberto I. 216-17. MILANO, Corso Vitt. Eman., 21.

Deposit. Gen. per la Sicilia: O. FIORENZA, *Palermo.*
Deposito per Napoli e Provincia: SOCIETÀ EDITRICE «DANTE ALIGHIERI» (Albrighi Segati e C.)
ITALIAN BOOK COMPANY, New-York.

1914

Digitized by Google

PROPRIETÀ LETTERARIA

(116) Stabilimento Tipografico Dott. GUIDO MOMO Torino, via Riberi, 6.

Digitized by Google

DICHIARAZIONE DEL TRADUTTORE

Presento al lettore Italiano, non completamente digiuno di studi fisici, la versione dall'Inglese di un'opera ragguardevole per l'importanza dell'argomento, non meno che per l'arditezza nôva che l'ha inspirata; essa peraltro non è intieramente isolata, per gli intenti suoi generali, fra gli scritti più recenti pubblicati nel Regno Unito.

Quest'opera, trattando argomenti scientifici, con intenti puramente scientifici, è di un interesse universale; perciò fu tradotta in molte lingue, ben anche in Giapponese. Mancava la traduzione Italiana ed a questo difetto ho desiderato di rimediare.

Singolare fortuna quella del pensiero umano durante il periodo che unisce il secolo XIX° a quello XX°!

Da un lato Idealisti e Spiritualisti combattono ad oltranza il naturalismo ed il materialismo; e, riportati su quelli indirizzi peculiari e temporanei dello spirito umano alcuni successi, tanto più facili a conseguire in quanto che di quelli erano già compiute le fasi, essi avventatamente trascorrono a proclamare la bancarotta della scienza. D'altro lato gli scienziati veri — quelli che nulla d'insensato avendo promesso, a nessun obbligo sottostavano — proseguendo nel religioso raccoglimento dei loro laboratorî le meravigliose e pazienti indagini, e ritrovando, a seconda del bisogno, nuovi impensati metodi sperimentali, preparano coi fatti la tacita rivendicazione dei diritti della scienza contro quella inconsulta sentenza profferita da rétori, camuffati da filosofi.

In disparte ancora, degli individui, eminenti per profonda dottrina, ma dotati di spiriti essenzialmente iper-critici, e forse talvolta persino caustici, vagliano e pesano scrupolosamente le nuove analisi dei feno-

Digitized by Google

meni e le nuove ipotesi che cercano di spiegarli, e riducono al loro vero valore, relativamente alle cognizioni d'oggidì, i progressi della scienza.

La soluzione del problema dell'universo sembra essere stata, di tutti i tempi, la méta suprema a cui tendevano gli sforzi di tutti i pensatori.

Ben diverse però erano le strade per tentare di giungere a quella soluzione, e già i Greci le avevano divise in fisiche ed in metafisiche o trascendentali, e tramandarono a noi quelle denominazioni.

Di questa distinzione fa ampio cenno il professore De-Tunzelmann nella dotta sua prefazione.

Ora le nuove indagini scientifiche così bene si collegano fra di loro, e cotanto accennano a fornire spiegazioni sufficienti per quasi tutti i fenomeni a noi noti, e per gli altri pochi già le lasciano travedere, che il loro complesso, non più slegato, ma armonico, reclama imperiosamente l'attenzione del filosofo, ed esige da quegli uno studio assiduo, se egli non vuole riuscire un vano parolajo e nulla più.

Una tale evoluzione del filosofo moderno si va compiendo lentamente, ma in modo abbastanza costante. I nomi di William James, di H. Bergson e di alcuni altri, stanno a farne testimonianza.

Sebbene per qualche tempo addietro i filosofi avessero abbandonata quella base dei loro ragionamenti, che consiste nelle scienze fisiche e naturali, non potevasi tuttavia muovere un rimprovero analogo ai cultori delle anzidette scienze positive; i quali, specialmente nelle regioni più settentrionali, non si mostravano mai tanto alieni da speculazioni filosofiche, quanto lo erano i filosofi da quelle fisiche.

Non è compito nostro l'indagare quanta influenza abbiano il clima e l'indole della razza su quella tendenza generale di un popolo ad addentrarsi maggiormente nelle ricerche delle cause finali dell'universo. Ma non possiamo trascurare, dal lato opposto, l'influenza contraria, alla quale furono sottoposte alcune genti più meridionali, a cui per lunghe età non è stata concessa la libertà di discutere certi argomenti. Esse hanno semplicemente desistito dall'occuparsene.

E fu grave danno; ne provennero superstizione ed indifferenza. Presso ai popoli Anglo-Sassoni noi troviamo invece tanto diffusa quell'aspirazione al sapere, che la coltura generale ne riceve gran giovamento. Quella tendenza, di cui dicevamo, comune ai popoli Nordici, si esplica presso gli Anglo-Sassoni con una larghissima diffusione di libri che accennano sempre al problema tuttora insoluto. Ne fanno fede le cento e più divulgatissime edizioni del *Rubaiyat* di Omar Khayyam

Digitized by Google

(poeta persiano del XV° sec.), tradotto dal Fitz-Gerald e da altri. Una tale enorme diffusione di libriccini d'esigua mole che si possono aver sempre, ovunque, a portata di mano, non è solamente un indizio, ma riesce pure di incitamento a rinvigorire quella tendenza naturale ad una filosofia pratica e d'indole bonaria. Questa invero dovrebbe essere tenuta in conto della zavorra, che nella nave ristabilisce l'equilibrio perturbato dalle burrascose vicende della vita.

Ai moltissimi, ai troppi Italiani, che non si curano affatto di consimili questioni, ai tanti ancora che si limitano alle più semplici ipotesi scientifiche circa i fenomeni naturali, ho dedicato questa versione di un'opera, la quale, dall'esposizione di quelle ipotesi risale, con metodi scientifici, ad una maggior approssimazione alla soluzione del-l'arduo problema. Soluzione che non sarà mai raggiunta completamente dappoichè, anche matematicamente, l'approssimazione esclude il conseguimento assoluto del fine supremo.

Più d'un ammaestramento può essere ricavato da questo libro. Poichè, oltre a quello proveniente dall'argomento svolto dall'Autore, un altro ancora se ne ritrae, non meno utile del primo, ove si ponga mente al metodo seguito dall'Autore.

Questa non è infatti una semplice esposizione scolastica delle teorie attuali e delle ipotesi le più recenti; ma è un riassunto dei tentativi fatti per giungere sino a quelle. Per tal modo il lettore, oltre all'essere premunito contro la fallacia di speculazioni, le quali sono di già state sperimentate non idonee per la spiegazione dei fenomeni naturali nel loro complesso, apprende i metodi di impostazione dei problemi, dell'approccio a quelli e della loro risoluzione.

Si può invero tener per fermo che lo studioso, dalla lettura del presente volume, avrà maggiormente sviluppata l'attitudine sua a trattare simili argomenti di scienze fisiche e naturali con rigorosa correttezza; e, diciamolo pure, in senso più lato, avrà imparato a ragionare *onestamente*.

Poichè il cultore delle scienze positive non fingesi a suo talento una verità, quale a lui più convenga, ma, di quelle pre-esistenti nell'ordine naturale muove alla ricerca colle debite cautele, e quando le ha ritrovate le ritiene per genuine soltanto allor che quelle si sono dimostrate valide a spiegare le cause dei fenomeni.

Io riconosco che le mie forze non erano sufficienti per la gravezza del compito al quale io mi sono sobbarcato; io chiedo tuttavia al lettore

Digitized by Google

di non rimproverarmi troppo acerbamente della mia eventuale deficienza, perchè ho la convinzione, da altri pure condivisa, che assai difficilmente altra persona sarebbesi trovata disposta ad accingersi a quest'impresa.

L'averla condotta a termine deve però essere ascritto a merito dell'ottimo Editore, Giuseppe Bocca, il quale si tenne pago di concorrere ad un'opera utile, senza potersene ripromettere un lucro adeguato. E questo non è il solo esempio di nobile disinteresse, ch'egli abbia dato per amore delle lettere e delle scienze.

Il difficile assunto m'imponeva la massima scrupolosità nell'interpretazione del pensiero dell'Autore. Questa è stata per me una costante preoccupazione, e di questa si risentono talvolta lo stile e la proprietà del discorso.

Citerò, ad es., la parola: *coscienziosità*, la quale è bensì accolta dalla Crusca per significare la qualità dell'essere *coscienzioso*, vale a dire di agire secondo i saggi dettami della propria coscienza; ma alla quale io ho dovuto attribuire anche un altro senso; cioè di esprimere la facoltà per un ente di essere dotato di coscienza.

Farà specie a taluno il vocabolo *approcciare*, e lo riputerà un gallicismo; mentre esso è un termine militare classico, sebbene un po' in disuso, e suona per: approssimarsi per vie indirette ad un sito munito e chiuso per rendersene padroni. La natura non difende i suoi segreti, non più di quanto vieti l'accesso alle sue vette; tuttavia e gli uni e le altre sono per noi di difficile conquista e giustificano il parlare di *approcci* bellici, in senso figurato.

Ma molte altre locuzioni appariranno tuttora poco chiare oppure male interpretate: esse peccano per il loro restare fin troppo fedeli al testo inglese; e la fedeltà, ai giorni nostri, è moneta quasi fuori corso. Occorre però che il lettore si persuada che una certa pratica è pur necessaria per afferrare tutte le sottigliezze del linguaggio scientifico, e specialmente di quello filosofico.

Il lettore, il quale intraprenderà l'esame di quest'opera, allenato da buoni studî, non baderà tanto alle asperità della via, in vista dello scopo finale a cui tende l'opera del prof. De-Tunzelmann, quale egli stesso dichiara e commenta in una prefazione geniale per elevatezza di concetti.

Torino, 13 agosto 1913.

EDOARDO DI SAMBUY.

Digitized by Google

PREFAZIONE

Il primario scopo di questo trattato si è di svolgere una descrizione altrettanto completa dello stato attuale della teoria elettrica, quanto sia possibile di effettuarla, senza che venga richiesta nel lettore, una qualsiasi ulteriore cognizione matematica più inoltrata di quanto non siano le nozioni elementari, con i più semplici metodi, che possono essere ritenuti costituire il minimo bagaglio scientifico dello studioso di fisica.

Quindi questo argomento è stato sviluppato dal punto di vista fisico, piuttosto che da quello matematico, ed eccetto laddove è stato possibile di giungere ai risultati richiesti mediante metodi matematici affatto semplici ed elementari, sono state adoperate illustrazioni e spiegazioni fisiche in luogo di dimostrazioni analitiche.

In quei pochi casi in cui questo non è stato possibile, i risultati ottenuti per mezzo dell'analisi matematica sono stati enunciati in una forma verbale altrettanto semplice e scevra di pura tecnicità quanto era possibile.

Io nutro fiducia che il procedimento adottato renderà quest'opera praticamente utile ad assai più larga schiera di studenti di fisica, di quanto non lo sarebbe, ove essa fosse stata indirizzata soltanto ai lettori familiari coll'analisi matematica moderna, e che essa fornirà all'ingegnere elettrico concetti fisici delle azioni nel campo elettromagnetico sufficientemente lucidi per renderlo capace di applicarli nel progettare apparecchi e macchine elettriche, e di evitare gli errori, e la conseguente perdita di tempo, che frequentemente è derivata dal difettare di quei concetti.

Sebbene non vi siano difficoltà matematiche nel testo, è stato trovato impossibile, senza limitare indebitamente lo scopo del trattato, di evitare l'introduzione di sezioni incidentali, contenenti un qualche difficile ragionamento riferentesi a considerazioni di carattere astratto.

Digitized by Google

I lettori, tanto matematici quanto non matematici, dovrebbero ritrarre giovamento dal metodo fisico adottato per l'esposizione, ed allo scopo di accrescere il valore dell'opera per i lettori della prima classe, i punti matematici maggiormente importanti che si presentano in correlazione col testo, sono stati svolti e trattati in appendici. Qualcuna di queste forniscono semplicemente delle prove, non altrimenti a disposizione in una forma facilmente accessibile, delle esposizioni fatte nel testo (1).

Altre contengono informazioni supplementari, che saranno di gran valore per il lettore, oppure delle considerazioni destinate a facilitare il di lui studio di trattati più elevati e di memorie originali. Ed altre poi ancora trattano di difficoltà e di controverse questioni teoriche.

Lo sviluppo moderno della teoria elettrica ha esteso la sua giurisdizione sopra l'intiero campo dei fenomeni fisici, con una eccezione possibile circa la gravitazione e la coesione; e sebbene questi fenomeni non possano essere definitivamente compresi entro il sistema elettromagnetico, si dimostra esservi ben ragione di ritenerli strettamente affini a quello. Un esame completo del campo della teoria elettrica, pertanto, necessariamente include la considerazione del *Problema dell'Universo*, talchè non occorrono giustificazioni per il titolo del libro.

Da questo punto di vista l'argomento è di un interesse grandissimo e generale, e perciò io ho preso in considerazione le esigenze del lettore comune, che abbia solamente una qualche rudimentale nozione di fisica, curando specialmente la semplicità nelle parti descrittive, con alcune spiegazioni di qualche poco più ampie di quanto sarebbero state richieste da soli lettori dedicati a più severi studi di fisica.

I primi due capitoli saranno riconosciuti di grande aiuto pei lettori di questa classe, poichè quelli li pongono in grado di riferirsi subito a definizioni di quantità fisiche ed a descrizioni di fenomeni che non possono essere loro familiari.

In tutta l'opera la considerazione di particolari sperimentali è stata evitata. Tali particolari possono essere facilmente ritrovati altrove e l'introduzione di essi avrebbe avuto per effetto di oscurare lo sviluppo dell'argomento, senza tener calcolo della obbiezione molto pratica, che

---

(1) Le appendici trattate matematicamente sono state omesse nella presente traduzione, che s'indirizza a tutto il pubblico colto, ma non specializzato in tali scienze pure. *(Nota del traduttore).*

Digitized by Google

ciò avrebbe accresciuto il volume, e quindi il prezzo del libro sino ad un limite eccessivo.

I due capitoli d'introduzione non sono quindi destinati allo scopo di provvedere il comune lettore, intieramente ignorante di questo soggetto, di sufficienti conoscenze circa la base della teoria elettrica. Tali lettori dovrebbero consultare una qualche introduzione elementare su tale argomento, quale sarebbe il *Practical Elementary Manual of Electricity and Magnetism* del prof. Andrew Jamieson.

Essi, ed anche altri lettori, troveranno quei capitoli utili per indicazioni e per esatte definizioni, qualcheduna almeno delle quali può darsi non sia loro familiare.

Essi, inoltre, se la loro attenzione è attratta dalla sola parte descrittiva, possono omettere altresì i capitoli III e V, i quali forniscono in una lingua semplice, non tecnica, delle considerazioni generali e fondamentali di grande interesse intrinseco e di grande importanza.

Chi si è dato a studi serî sulla teoria elettrica non può far nulla di meglio che studiare l'*Elementary Treatise on Electricity and Magnetism* di Foster e Porter come una introduzione alla presente opera ed in connessione con essa (1).

Il lettore che desideri conoscere lo sviluppo storico ed i principii fondamentali della dinamica troverà i *Principles of Mechanics* del Mach del più gran valore.

Egli può altresì studiare con profitto *La Science et l'Hypothèse* e *La Valeur de la Science* di H. Poincaré.

Il lettore, non digiuno di scienze matematiche, non mancherà di studiare *Aether and Matter* di sir Giuseppe Larmor, e quelli sufficientemente addottrinati in tali discipline si troveranno largamente ricompensati dallo studio della di lui grande serie di memorie sulla « Teoria Dinamica del mezzo elettrico e luminoso che comprende circa trecento pagine degli *Philosophical Transactions* degli anni 1894-5-7. Io ho dei grandi obblighi verso queste pubblicazioni.

Esse possono essere riguardate, in fatti, quasi costituenti come l'intelaiatura sulla quale è stata determinata la forma di una gran parte di questo volume.

---

(1) Al lettore italiano consigliasi vivamente la lettura della *Nuova Teoria dell'Elettricità*, di E. E. FOURNIER D'ALBE. F.lli Bocca editori.
(*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

Io posso render avvertito il lettore di un errore, sul quale sir Giuseppe Larmor aveva gentilmente richiamata la mia attenzione durante il procedere di quest'opera, circa l'investigazione della pressione di radiazioni in coteste memorie. Un'indagine modificata e corretta sarà trovata in *Aether and Matter*.

Il capitolo VII formerà naturalmente, per lo studioso, una introduzione all'opera modello di sir J. J. Thomson su *The Conduction of Electricity through Gazes* che contiene minuti particolari tanto della parte sperimentale, quanto dello sviluppo matematico.

Per ulteriori nozioni sulla radioattività lo studente si riferirà naturalmente al trattato eminentissimo del prof. Rutherford su tale soggetto; il quale trattato comprende complete dimostrazioni sperimentali, ed appena quanto è necessario di investigazione matematica.

L'opera di Soddy sulla *Radioactivity* e quella sui *Becquerel Rays* dell'on. R. J. Strutt saranno anche molto utili.

Il lettore troverà una semplicissima esposizione dell'argomento sul volume di Makower nella *Serie Internazionale di Scienze*.

Lo scrivere il capitolo XVI fu reso molto più facile dai numerosi richiami ad opuscoli originali, nell'articolo *Gravitation* del professore J. Zenneck nel VI volume dell'*Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften*.

Io mi sono ingegnato dappertutto di fornire tanto il nome della pubblicazione quanto la data di tutte le consimili memorie originali, acciocchè, per deficienza di taluno di questi dati, non potesse capitare a qualcuno di non rinvenirle in quelle opere principali citate; ma quando esse sono per esser trovate quivi, io ho usualmente citato la sola data, per evitare l'indebito moltiplicarsi di note a piè di pagina.

Non vi rimane dubbio nella mia mente che il corretto modo di vedere sia che l'assenza di aberrazione sia il punto essenziale nella considerazione della velocità di propagazione dell'attrazione di gravità, punto stato originalmente suggerito a me dal prof. C. V. Boys, F. R. S., nella conversazione, e nel susseguente riferirsi all'indagine ben nota del Laplace considerata a pagina quarta del cap. XVI.

Io ho tentato, nella penultima pagina del detto capitolo, di illustrare la legittimità di impiegare il concetto perfettamente ben definito matematicamente dello spazio a quattro dimensioni, che è implicito nell'ipotesi che fornisce la più semplice rappresentazione dell'attrazione di gravità come una azione trasmessa attraverso all'etere. Un'ulteriore

Digitized by Google

illustrazione, e che può condurre il lettore matematico ad una linea inesplorata di considerazioni, è stata suggerita a me da una osservazione fatta da sir Oliviero Lodge, che il tempo potrebbe forse essere tenuto in conto di una sorta di quarta dimensione nello spazio. Talune delle osservazioni che seguono saranno probabilmente un poco oscure pei lettori non matematici, ma essi non troveranno difficoltà nell'afferrare il loro generale significato.

Il nostro processo di pensiero è quasi intieramente confinato entro i limiti di tempo e di spazio. La logica simbolica del matematico altamente elaborata, lo pone in grado soltanto molto parzialmente di emanciparsi da queste condizioni, e il non matematico, generalmente, se pur non sempre, si trova intieramente incapace di trascendere oltre questi limiti.

Per l'evoluzionista la spiegazione appare discretamente ovvia. Questi modi di pensare ci muniscono della rappresentazione, la più semplice possibile, del mondo esterno, e tale che essa è ampiamente sufficiente per gli scopi dell'esistenza pratica.

Essi hanno quindi formato per età innumeri una porzione della natura della razza umana, gradualmente ascendendo dalla loro forma meno sviluppata negli antenati animali. Essi sono stati sentiti come limitazioni soltanto entro le poche migliaia di anni entro le quali l'uomo si è sforzato di estendere le sue concezioni al mondo esterno, oltre le necessità dell'esistenza animale, nel vasto dominio del pensiero filosofico.

Persino oggidì, e nelle più civilizzate collettività, quelli che si provano di pensare per proprio conto, formano tuttora una frazione quasi infinitesima della massa.

Una proporzione di individui molto più larga, egli è vero, ora si provvede di qualche cosa che essi riguardano come un corredo mentale, non infrequentemente messo assieme a frammenti e racimolato altresì da concetti altrettanto eterogenei, quanto sono incongrui tra di loro i materiali di un nido di cornacchie. Vi è quindi poco da meravigliarsi che noi abbiamo bisogno di tutto l'aiuto che si può ottenere dall'analisi matematica per ottenere anche solo una parziale emancipazione da legami che erano una volta elementi di progresso. Il concetto di sir William Rowan Hamilton intorno all'algebra considerata come una scienza di puro tempo, era, come ogni cosa che emana dalla mente di un gran genio matematico, estremamente suggestiva, ma il concetto di Riemann dello spazio molteplice è stato anche maggiormente suggestivo.

Digitized by Google

Fu questa concezione che definitivamente legittimò il concetto dello spazio generalizzato, che è stato cotanto fecondo sia nello sviluppo delle matematiche pure, sia nelle loro applicazioni alle soluzioni dei più astrusi problemi di fisica.

Io mi rammento dei tempi quando ero studente, di essere entrato in discussione con uno dei più istruttivi degli insegnanti di matematica, il prof. W. K. Clifford, circa il concetto dell'Hamilton sull'algebra, secondo il modo di vedere dell'opera di Riemann, e di andargli esponendo come io non potrei scorgere una ragione contraria a simile estensione della molteplicità unidimensionale del tempo; e rammento ancora la di lui osservazione che in quel caso noi dovremmo esser capaci di mandare un angelo (o messaggero) nel futuro che dovrebbe ritornare ed informarci di quanto egli tenesse in serbo per noi. L'estensione del concetto di Hamilton alle più altamente complicate dottrine algebriche, di sviluppo relativamente recente, involverebbe necessariamente questa estensione di tempo anche ad una molteplicità pluridimensionale.

Inoltre la concezione del Riemann dello spazio come una molteplicità può essere direttamente estesa al tempo, che, secondo il concetto qual'è da noi impiegato, è semplicemente una molteplicità unidimensionale.

Una osservazione di sir Oliver Lodge ha suggerito a me un modo di considerare la quistione che sarà, io penso, comprensibile anche dalle persone non matematiche. Immaginiamo un punto che stia muovendosi con una velocità finita, che, per semplificare, possiamo supporre costante, per un tempo finito, e senza cambiamento di direzione. Il suo corso sarà allora una linea retta, e la posizione del punto su questa linea ad un dato istante può essere considerato come il presente, del punto in movimento, mentre le parti della linea da opposti lati oltre il punto, possono essere considerati come rappresentanti rispettivamente la di lui storia passata e quella avvenire.

Ciascuna di queste parti formerà una molteplicità uni-dimensionale che rappresenta un procedere del tempo, e, dal punto di vista della presente posizione del punto, la prima parte sarà considerata come esistente ora soltanto nella memoria, e la seconda parte come esistente soltanto nell'immaginazione. Noi possiamo contemplare quel moto sotto ad un aspetto affatto differente, considerandolo quasi fosse rappresentato da una molteplicità uni-dimensionale dello spazio anzichè

Digitized by Google

da una molteplicità uni-dimensionale di tempo. Qualsiasi posizione prescelta del punto dividerà allora questa molteplicità in due parti, entrambe considerate come esistenti realmente e non soltanto rispettivamente nella memoria o nell'immaginazione.

Ora muovasi la linea retta in una determinata direzione perpendicolare a sè stessa, ma per tutto il resto nella stessa guisa del punto, circa al tempo ed alla velocità, ossia attraverso ad una distanza, costantemente come prima. Ogni intermedia posizione della linea dividerà una quantità uni-dimensionale, che ha nei suoi elementi linee rette, in due parti. Se l'estensione è considerata come rappresentata in tempo, queste due parti, che rappresentano la storia passata e quella futura della linea scelta, saranno di nuovo considerate come esistenti la prima nella memoria, la seconda nell'immaginazione.

Se, d'altra parte, l'estensione è rappresentata in spazio, entrambe le parti saranno considerate quali aventi una esistenza presente. In ciascuno dei due casi la traccia completa della linea formerà un quadrato.

Ora supponiamo che questo quadrato sia in moto, in una direzione perpendicolare al suo piano con velocità costante durante tempi uguali come dianzi s'è detto.

La traccia completa formerà un cubo consistente di una molteplicità uni-dimensionale di piani, ed ogni piano intermedio può essere considerato tanto sotto l'aspetto del tempo quanto sotto a quello dello spazio.

Se noi ora consideriamo l'intero processo per giungere sino al cubo, noi troviamo che, considerato quale estensione nello spazio, esso può essere riguardato come continuo. Il movimento del punto descrive una linea, il movimento della linea risultante descrive un quadrato, ed il movimento del quadrato descrive un piano. Il quadrato forma una molteplicità a due dimensioni di punti; mentre il cubo forma una molteplicità a tre dimensioni di punti, tutti i punti potendo essere riguardati come esistenti simultaneamente, dacchè l'intero movimento è stato effettuato senza richiedere che ogni punto si muovesse nella posizione di già occupata.

A tale processo (dal punto al cubo) considerato invece come estensione di tempo, noi non riusciremo a dare la stessa interpretazione completamente.

Noi troviamo che noi abbiamo semplicemente due volte cambiata la rappresentazione del flusso del tempo, dipingendolo dapprima come

Digitized by Google

moto di un punto, e quindi come moto di una linea, e finalmente come moto di un piano.

Se noi ci proviamo di continuare il processo coll'addizione di un altro grado, noi non troveremo difficoltà dal punto di vista dell'estensione nel tempo. Noi semplicemente avremo da fare un altro cambiamento nella rappresentazione del flusso del tempo, riguardandolo ora come rappresentato dall'addizione di cubi a cubo, ed egli è evidente che questo può essere continuato indefinitamente.

A ciascun grado, tuttavia, noi soltanto aggiungiamo una nuova molteplicità uni-dimensionale, incapace di combinazione con ciascheduna delle precedenti. Dal punto di vista dell'estensione di spazio noi siamo incapaci di procedere oltre, poichè noi siamo incapaci di concepire dei punti nello spazio in cui i punti del cubo esistente possano muoversi senza assumere posizioni di già occupate. Noi potremmo continuare il processo matematicamente senza difficoltà veruna, ed attraverso quanti gradi a noi piacesse, ma l'umana mente è incapace di rappresentarsi visivamente ognuno dei gradi ulteriori.

I punti importanti per la nostra considerazione sono che:

1° per tutta la durata di ciascun grado che noi siamo capaci di rappresentarci visivamente, lo stesso sistema di relazioni può essere raffigurato alternativamente come una divisione tra due sistemi simultaneamente esistenti, oppure una divisione tra un passato che ha cessato di esistere ed un futuro che ancora non è giunto ad esistere;

2° l'analisi matematica dimostra, oltre la possibilità del quesito, che l'ostacolo all'indefinita continuazione del primario processo è dovuta intieramente alla limitazione del nostro potere di raffigurarci mentalmente le relazioni, e non ad altra cosa inerente alle relazioni medesime.

Sarebbe quindi perfettamente giustificato il rappresentare ciò che noi chiamiamo il presente stato dell'universo, non come una divisione tra un passato che ha cessato d'esistere ed un futuro che non esiste ancora, ma come una divisione tra due sistemi esistenti continuatamente.

Da questo punto di vista il tempo sarebbe intieramente eliminato. Lo spazio a tre dimensioni in cui le nostre menti dispongono il mondo esterno formerebbe allora la divisione tra due spazi a quattro dimensioni; e le sue serie di cambiamenti, quali presentate alla nostra coscienza, sarebbero riguardate come derivanti dal moto della divisione, nostro spazio a tre dimensioni, attraverso lo spazio a quattro

Digitized by Google

dimensioni in cui esso è contenuto. Ad una intelligenza capace di tale raffigurazione mentale dello spazio contenente, il passato ed il presente del nostro universo apparirebbero come esistenti simultaneamente nel presente.

L'estensione, nel capitolo XVII, degli ordinari metodi di ricerca fisica ad una investigazione della natura dell'Intelligenza primaria è la logica conseguenza dello sviluppo della teoria elettrica in una teoria che apparentemente tutto abbraccia dell'universo materiale, presa in connessione colla proposizione fondamentalmente importante che a quella si riferisce ed è illustrata nel testo. Egli è di una matematicamente infinita improbabilità, ovverosia, in altro linguaggio, impossibile, che un universo contenente materia molecolare costituisca un sistema che da se stesso provveda alla propria conservazione. La sua esistenza come sistema conservativo necessariamente involverebbe la sua direzione continua da un potere diretto intelligentemente (1).

L'esistenza di una Intelligenza Primaria come necessariamente antecedente all'esistenza dell'Universo ed ad ogni coerente schema di conoscenza scientifica, ha ricevuto ampia dimostrazione filosofica, e io non sono informato se questa questione sia stata mai considerata come ancora da risolvere da ogni più grande pensatore.

La maggior parte dei moderni fisici hanno tuttavia riguardato quella quistione come di una essenza intieramente al di là dei limiti ai quali possa giungere l'indagine fisica. Questa era la mia propria opinione fintantochè, nel corso dello sviluppo della presente opera, io fui addotto alla soluzione ora presentata ai miei lettori in quel capitolo. Io consiglierei caldamente a coloro che, senza essere filosofi, portano interesse alle quistioni filosofiche di sopra riferite, di leggere le *Foundations of Belief* di A. J. Balfour, dove esse sono trattate con un linguaggio piacevolmente scevro da tecnicità filosofiche, ma, nel tempo stesso con una logica convincente. Io mi sarei riferito a questo libro e probabilmente ne avrei fatto citazioni nel testo, se non fosse che, non riconoscendone completamente il suo carattere ed il suo scopo, io non l'avessi letto soltanto dopo stampate le ultime bozze.

Il lettore che studia quest'opera dal punto di vista del cap. XVII,

(1) Vedasi la memoria di J. H. JEANS, *On the Application of Statiscal Mechanics to the General Dynamics of Matter and Æther* (« Proc. Roy. Soc. », vol. LXXVI, A. 1905, pag. 296).

Digitized by Google

non sarà frastornato dalle difficoltà che per avventura potrebbero altrimenti pararglisi dinnanzi per causa della scelta alquanto peritosa fatta dal signor Balfour di un punto di partenza idealistico.

Un altro lavoro che dovrebbe interessare i lettori di questo capitolo, ed a cui io mi sono riferito nell'appendice A, sebbene il testo sia stato completato prima che io vedessi quello, è *Life and Matter* di sir Oliver Lodge. Una delle supposizioni che io ho fatte a metà circa dell'ultimo capitolo, come tale da poter gettare uno sprazzo di luce sulla quistione del libero arbitrio o del determinismo della volontà, è di carattere simile ad una stata fatta in quel piccolo volume. Io posso anche riferirle ad una memoria interessante del prof. W. R. Sorley, *L'interpretazione dell'evoluzione* (1). Vi è anche un articolo sulla *Direttività* come caratteristica degli esseri viventi, del prof. Henslow (2) sul quale è stata richiamata la mia attenzione soltanto da questi ultimi pochi giorni, e che è perfettamente d'accordo con una parte dell'argomento dello stesso capitolo. L'intiero problema della direttività della materia da una mente è dimostrata in questo capitolo essere riducibile al problema della direttività di energia da una mente, e come è dimostrato ulteriormente, che anche un caso così complesso come la guida dell'universo materiale dall'Intelligenza Primaria è suscettibile di essere presentato sotto la semplice forma della guida di un punto muoventesi lungo un prestabilito percorso.

L'azione intenzionale sopra quanto l'attornia immediatamente da vicino, della mente che si manifesta associata colla materiale struttura di tutte le forme viventi, può essere rappresentata in un modo consimile. Tuttavia la più grande delle menti umane può avere solamente una influenza comparativamente piccola sopra il punto in moto, caratteristico del sistema, vale a dire, la porzione dell'universo sulla quale s'estende il suo potere.

L'intelligenza di simile mente è, inoltre, di così limitata natura che perfino in quei semplici casi in cui è possibile di essere sicuri, con ragionevole certezza ed accuratezza, di raggiungere il fine desiderato, vi è sempre la possibilità che possano anche seguire dei risultati involontari e non desiderati.

È probabile che molti lettori, nel leggere questo capitolo facciano il

---

(1) *British Academy Proceedings*, vol. IV, 1909.
(2) *Hibbert Journal*, vol. VI, pag. 157. 1907.

Digitized by Google

commento che, sebbene il potere direttivo della mente sopra l'energia, e quindi sopra la materia, sia stato chiaramente dimostrato di esistere, nessuna spiegazione sia stata offerta della natura dell'azione reciproca.

Essi diranno con Du-Bois-Raymond, *ignoramus*, noi non conosciamo; essi potrebbero persino andar oltre con lui e dire *ignorabimus*, noi non conosceremo mai. Il profetizzare è tuttavia notoriamente arrischiato, e specialmente una profezia negativa. In un senso, che è quello più ristretto, io non m'aspetto che la sua profezia sia mai provata falsa. In un più largo senso io penso che io posso discernere indizi della sua rapidamente approssimantesi falsificazione. Abbiamo richiamato l'attenzione nel capitolo III sul fatto che le rappresentazioni per mezzo di cui i fisici hanno tentato di sistematizzare e coordinare le relazioni — ed una spiegazione può non avere altro significato — dei fenomeni naturali, sono state formate sul modello della meccanica, il più semplice ramo di fisica ed il primo sviluppato.

La spiegazione dei fenomeni fisici quindi venne a significare la loro raffigurazione in termini di concetti meccanici; e molti abili biologi, non avendo una concezione ben definita di ciò che significa una rappresentazione meccanica, hanno parlato e scritto sciattamente e trascuratamente della rappresentazione meccanica del complesso dei fenomeni naturali, includendovi persino il fenomeno della vita e della mente.

Il significato definito di una rappresentazione meccanica è dato nel capitolo III, ed il progresso di una investigazione fisica ha mostrato che simili concetti possono rappresentare persino il più semplice tra i fenomeni materiali solo approssimativamente.

Noi troviamo che i fenomeni di fisica molecolare sono totalmente non suscettibili di essere completamente rappresentati in termini meccanici. Si è trovato che concetti quasi meccanici sono riusciti del più gran valore nel concatenare le nostre cognizioni di fisica molecolare, che è la seconda approssimazione ad una rappresentazione dell'universo, col modello meccanico che forma la prima approssimazione.

Il lettore però imparerà che simili concetti valgono soltanto come introduzione, e che, se noi ci proviamo di utilizzarli nell'integrità loro nello schema molecolare, noi li troviamo ben tosto d'inciampo anzichè di aiuto nel nostro progredire.

Se quindi noi dobbiamo abbandonare i concetti meccanici del primo modello tostochè noi ci addentriamo nei più profondi abissi della fisica molecolare, diviene ovvio che noi non possiamo aspettarci una qualche

Digitized by Google

assistenza da essi nel servircene nello schema mentale che comincia ad albeggiare davanti alla nostra visione soltanto quando noi abbiamo raggiunti i più reconditi recessi dello schema molecolare. Non soltanto, quindi, il progresso della scienza non offre una promessa di una rappresentazione meccanica dell'azione reciproca tra la mente e la materia; esso indica in termini non dubbiosi l'ulteriore futilità di una consimile aspettativa. L'insufficienza di concetti quasi-meccanici della fisica molecolare, in paragone del potere dei metodi matematici che vanno gradualmente rivelando le loro segrete stanze, ha indotto alcuni fisici matematici di promuovere l'intiero abbandono del concetto dell'etere in favore di rappresentazioni delle relazioni osservate per mezzo di equazioni differenziali senza tener conto alcuno dell'etere.

Gli argomenti in favore di un tale procedimento sono stati esposti con chiarezza ed abilità in due memorie da N. Campbell nel *Philosophical Magazine* del febbraio 1910. Sebbene qualcuno di questi argomenti diano, secondo la mia opinione, adito alla critica, non può, a parer mio, essere seriamente posto in discussione che un più semplice schema di equazioni elettro magnetiche sarebbe possibile nel caso di assenza del concetto dell'etere.

D'altra parte mi sembra difficilmente possibile che qualsiasi fisico possa supporre che, nell'assenza di un tale concetto, noi saremmo arrivati al grado di conoscenza delle relazioni tra i fenomeni della fisica molecolare che rendono possibile di formolare una simile quistione. Io credo inoltre che il lettore della presente opera troverà nelle sue pagine ampia giustificazione per la mia convinzione che non vi è la minima indicazione che quel concetto sia probabilmente per essere meno utile nell'ulteriore progresso verso l'unificazione delle nostre rappresentazioni dell'intiero sistema della natura, di quanto esso abbia dimostrato di essere per il passato.

La convinzione che sarebbe il colmo della follìa lo scartare, allo scopo di semplificare i nostri sistemi di equazioni differenziali, i concetti quasi-meccanici che si sono palesati di così grande giovamento nel conseguire il presente punto di vista, non impedisce ad ogni modo il mio contemplare, non soltanto la possibilità, ma ben anche la probabilità della sostituzione della rappresentazione esistente dell'universo con un'altra di carattere anche più universalmente comprensivo.

Il tentare di semplificare questa rappresentazione coll'abbandonare il concetto dell'etere, e coll'etere la variabilità della massa, sarebbe a

Digitized by Google

parer mio un passo all'indietro. Il concetto dell'etere ci ha addotti, come io ho dimostrato nel capitolo XVII, alla conclusione che l'energia sia un concetto maggiormente fondamentale di quanto non lo sia tanto l'etere quanto la materia.

Essa è quindi più fondamentale che il concetto di massa, cosicchè l'indicato cammino del progresso non è la riforma dalla nostra rappresentazione, allo scopo di renderlo idoneo di più semplice espressione nei termini di un sistema di dinamica in cui la massa era riguardata come fondamentale.

Ciò che noi dobbiamo considerare si è, secondo la mia opinione, il rifacimento del nostro sistema di dinamica sulla base dell'energia anzichè della massa. Noi possiamo allora cominciare a contemplare la definitiva possibilità di una futura ricostruzione nella quale la mente rimpiazzerà l'energia come la base fondamentale dello schema fisico. Siccome i nostri concetti meccanici e quasi-meccanici apportano di già delle prove delle loro insufficienze, noi abbiamo da sperare la formazione di concetti fisici intieramente nuovi, della natura dei quali noi non possiamo presentemente avere neppure il barlume di un'idea.

Nel frattempo noi avremo da far assegnamento, nel futuro come nel passato, sulla guida che giammai non ci è venuta meno, ma che si è sempre dimostrata capace di sviluppare nuove forze come quelle state richieste allo scopo di affrontare le sempre crescenti difficoltà della strada. L'analisi matematica, più meravigliosa fra tutti i frutti della umana mente, sempre continua il suo sviluppo in proporzione ognora crescente.

Senza avventurarsi a fare temerarie profezie che il tempo probabilmente dimostrerebbe essere stolte all'estremo grado, vi è, secondo il mio modo di pensare, un profondissimo significato in qualcuno dei recenti progressi nelle nostre cognizioni di matematica pura. Appunto come Galileo, Huygens, Newton e qualcuno dei più grandi fra i loro contemporanei e successori, ebbero effettuato la completa separazione della fisica dalla teologia, con vantaggi manifesti per entrambe le scienze, così Riemann, Lobachewsky, Cantor, Peano, ed altri illustri matematici hanno separato la matematica pura dalla fisica, alla quale quella ha dimostrato essere di così potente aiuto.

L'indipendenza per tal modo acquistata va di già accelerando lo sviluppo della prima, e va fornendo così un ausilio ancor più efficace al progresso dell'ultima. L'intiero sistema di matematiche pure, come

Digitized by Google

io ho indicato nel capitolo V, è ora definitivamente provato di essere, come fu pronosticato da Bowle nelle meravigliose *Leggi del Pensiero*, niente altro che un sistema elaboratamente sviluppato di logica simbolica. Esso è un puro prodotto della mente, indipendente da ogni conoscenza empirica, e deve quindi quasi per necessità, essere adatto per l'investigazione di fenomeni mentali.

L'intima parentela trovata sussistere tra processi puramente mentali e quelli mediante i quali noi formiamo i nostri concetti del mondo esterno ci indurrebbe ad aspettarci che i primi, come gli ultimi, richiederebbero una trasformazione in concetti, o modelli più semplicemente approssimativi, prima che essi fossero arrendevoli al processo del pensiero incorporato nell'analisi matematica.

Un progresso considerevole nella costruzione di tali modelli è di già stato fatto dai moderni psicologi; il lavoro della psicologia consistendo nell'analisi dei complessi processi mentali, sotto il punto di vista della ricerca sperimentale, in distinte parti ed elementi.

Queste parti non sono maggiormente distinte nell'attuale esperienza di quanto lo siano le parti in cui i fenomeni dell'universo materiale è stato similmente analizzato. Ed io penso sia chiaramente esposto nella presente opera che elementi non esistono nella nostra attuale esperienza del mondo esterno. Ma è pur dimostrato altrettanto chiaramente che non si può progredire nella correlazione dei processi mentali finchè una rappresentazione trasformata in termini di elementi non sia stata effettuata.

Quando i psicologi avranno compiuto quest'opera preliminare con estensione sufficiente non v'ha ragione di dubitare che la potenza dell'analisi matematica non faccia i passi iniziali verso una prima approssimazione ad uno schema mentale definito, od altrimenti il suo sviluppo nelle richieste direzioni verrà meno nel mantenere il suo posto sufficientemente in anticipo del progresso della psicologia sperimentale per far di questa sempre la guida fidata, quale essa s'è sempre mostrata a più basse altitudini.

Ora mi rimane soltanto il piacevole compito di esprimere i miei ringraziamenti a coloro che hanno assistito me per una via od un'altra nell'esecuzione di una laboriosa impresa; un'impresa peraltro che è stata d'interesse assorbente per me stesso, e che io confido possa altresì interessare i miei lettori e dimostrarsi loro d'aiuto, come un contorno ben definito dello schema della natura contemplata dal punto di vista

Digitized by Google

di un fisico, il di cui scopo è stato di pervenire alla verità e di presentarla ai suoi lettori tanto adeguatamente quanto stava in lui.

I miei obblighi al mio amico prof. G. M. Minchin, F. R. S., superano ogni formola conveniente che sia in poter mio. Egli è stato tanto gentile da leggere pressochè intieramente le prove dal principio del capitolo III, ed oltre alle correzioni degli errori di stampa, che erano sfuggiti alla mia osservazione, e gli sbagli ed improprietà di espressione, delle quali io stesso ero colpevole, egli mi ha in moltissimi casi indicato parti dell'argomento dove una maggior spiegazione era desiderabile, allo scopo di renderne più agevole l'intendimento o di aggiungere alla loro precisione.

Il mio vecchio amico e primo maestro Principal Carey Foster, F. R. S. al di cui suggerimento ed incoraggiamento fu largamente dovuta l'amplificazione di questo lavoro assai al di là del piano dapprima ristretto, ha gentilmente lette le bozze dei primi due capitoli, ed ha suggerite parecchie semplificazioni e perfezionamenti. Un altro amico che io ho da ringraziare è sir William Ramsay, F. R. S., sia per aver rilette le bozze del capitolo sulla radioattività, sia per l'informazione incorporata nel testo, riguardante la recente determinazione fatta nel di lui laboratorio del periodo di dispersione del Radio. Io deve pure molti ringraziamenti al prof. Svanté Arrhenius per la di lui cortesia nel leggere le bozze dal capitolo XI al XIII, e per molti suggerimenti.

Nel capitolo XV, nel quale, oltre al tentativo di ottenere almeno una prima approssimazione verso la soluzione di un problema che è sin qui stato riguardato come se fosse oltre ai limiti dei metodi fisici, io ho tentato ancora di estendere la soluzione parziale ottenuta coll'aiuto di considerazioni generali filosofiche (un soggetto nel quale io non ho pretesa di essere considerato come esperto), io ricercai ulteriore critica da amici filosofi, e il professore W. R. Sorley, D. litt., professore di Filosofia morale nell'Università di Cambridge, Canon Gildea, ed il signor A. H. Douglas-Hamilton, furono tanto gentili da leggere le bozze ed io sono debitore a ciascuno di essi di qualche valevole suggerimento.

Io devo ringraziare il signor dottor G. A. Schott per avermi gentilmente mandato particolari inediti dei suoi calcoli; e devo pur ringraziare il signor Giuseppe Larmor, segretario della Società Reale, per informazioni intorno a parecchi punti nel corso dell'opera.

Sono stato grandemente debitore al signor White, l'assistente bibliotecario della Società Reale, ed ai suoi assistenti, per l'aiuto di grano

Digitized by Google

valore, talvolta causa a lui di perdita di tempo e di disturbo, nel rintracciare qualcuna delle numerose memorie che dovevano essere da me compulsate.

Io devo esprimere i miei ringraziamenti ai seguenti autori ed editori per il permesso di riprodurre estratti dalle opere mentovate: ai Sindaci della « Clarendon Press », nel caso del trattato di Clerk-Maxwell sull'*Electricity and Magnetism*; a sir Giuseppe Larmor ed ai Sindaci dell'Università di Cambridge nel caso di *Aether and Matter*; al signor M. E. Darwin e ai signori John Murray, nel caso delle *Climbing Plants* di Carlo Darwin, e delle *Insectivorous Plants*, pure dello stesso.

Ai signori Max Muller e signori Longmans, Green e Co., nel caso dei lavori del prof. Max Muller; ai signori Macmillan e Co., nel caso delle opere del prof. Huxley, al professore W. R. Sorley e signori William Blackwood e figli, nel caso dell'*Ethics of Naturalism*; ed al signor Carlo Watts, nel caso del *Problema dell'Universo* del prof. Haeckel.

In conclusione io ho da esprimere la mia grande obbligazione ai miei proprii editori per la loro indefettibile cortesia e costante cura ed attenzione durante l'arduo lavoro proveniente dalla correzione delle bozze.

G. W. DE TUNZELMANN.

18 aprile 1910.

Digitized by Google

INDICE

CAPO I.

Fenomeni elettrici fondamentali.

Attrazione e ripulsione — L'elettroscopio — Conduttori ed isolatori — Induzione elettrostatica — Gli elettroni e le primitive ipotesi — Natura superficiale di carica in un conduttore — Campo elettrico, forza e potenziale — Forza elettro-motrice — Capacità — Proprietà dei magneti — Poli magnetici, forza, momento e induzione — Teoria di Weber — Azioni mutue dei magneti e delle correnti elettriche — Campi magnetici — Il galvanometro e l'elettro-dinamometro — Teoria di Ampère — Induzione elettro-magnetica — Linee e tubi di forza — Vortici elettrici o magnetici — Qualità richiesta nella legge generale di induzione elettro-magnetica, Correnti costanti, effetto calorifico, legge di Ohm — Batterie primarie e secondarie — Elettrolisi — Natura atomica dell'elettricità — Origine della teoria degli elettroni ..... *Pag.* 1

CAPO II.

Unità e misurazioni.

Misurazione di quantità — Unità fondamentali e derivate — Misurazione elettrica — Unità elettro-statiche ed elettro-magnetiche — Unità pratiche — Dimensioni e paragoni di unità — Estratti dalla Relazione della Conferenza Internazionale del 1908 ..... *Pag.* 26

CAPO III.

Significato e possibilità di una teoria meccanica dell' Elettricità.

Il sorgere della teoria meccanica — Legge di Newton di gravitazione quale fattore determinante della forma delle primitive teorie fisiche — Carattere di grande portata della teoria dell'elettricità basata sulla forza centrale — La teoria Faraday-Maxwell ed il suo complemento,

Digitized by Google

la teoria degli elettroni — Ricerche di Archimede sulla pressione dei liquidi, e di Galileo sulla caduta dei corpi, come esempi di generalizzazione meccanica — Metodi di Newton — Spiegazione della possibilità di applicare metodi matematici alla rappresentazione meccanica di fenomeni fisici — Metodi sintetici ed analitici — Valore dei principii generali dinamici — Metodi di Lagrange ed il principio dell'azione minima — Rappresentazioni meccaniche di fenomeni fisici solo come modelli, non come presentazioni complete. — La natura della dimostrazione di Maxwell della possibilità di una teoria meccanica dell'elettricità ..... *Pag.* 45

CAPO IV.

L'ETERE.

Antiche concezioni dell'etere — Teoria atomica — Metodi alternativi di intraprendere la risoluzione del problema dell'etere — Contribuzioni di Huygens, Fresnel, Green, Mac Cullagh, e Maxwell alla teoria dell'etere — Semplici vibrazioni armoniche — Rifrazione doppia e polarizzazione — Rappresentazione della trasmissione di un'onda piano polarizzata per mezzo dell'attorcigliamento dell'etere — Modello meccanico dell'etere di Lord Kelvin ..... *Pag.* 64

CAPO V.

L'ETERE COME ARMATURA PER MOTI ASSOLUTI.

Moto assoluto e relativo — Proposizione di Newton — Critiche di Mach e di Poincaré — Modo di vedere di Russell — Modo di vedere dell'autore — Concezioni dello spazio di Euclide e di altri — Possibilità che il nostro spazio ripieno di etere sia di una estensione finita *Pag.* 86

CAPO VI.

RELAZIONI TRA L'ETERE E LA MATERIA IN MOTO.

L'etere non un mezzo resistente per la materia in moto — L'aberrazione della luce — Effetto sulla riflessione e sulla rifrazione di un moto relativo all'etere — Legge di Fresnel — Tentativo di teoria di Stokes di un etere in moto colla materia — Difficoltà insuperabili coinvolte in simile modo di vedere, ed evidenza sperimentale contro di essa — Esperimento Michelson-Morley e l'ipotesi suggerita da Fitzgerald e da Lorentz per la spiegazione di quello ..... *Pag.* 93

CAPO VII.

CONDUCIBILITÀ NEI GAZ E DIELETTRICI.

Complessità dei fenomeni di conducibilità gazosa — Esperimenti di Elster, Geitel e Wilson — Jonizzazione — La corrente di saturazione

Digitized by Google

e la sua spiegazione — Disperdimento di jonizzazione e sue cause — Movimento dei joni nei campi magnetici ed elettrici — Determinazione della massa, carica e velocità di un jone — Metodi di jonizzazione — Scarica per scintilla — Scarica da punte — L'arco elettrico — Scarica in un tubo vuoto — Raggi catodici — Raggi canali — Raggi Röntgen — Conducibilità nei dielettrici .... *Pag.* 108

CAPO VIII.

Fenomeni generali di radio-attività.

Osservazioni di Henry e di Becquerel — Uranio, torio, radio, polonio e attinio — Persistenza spontanea del radio al disopra della temperatura circostante — La radio-attività come proprietà atomica — Emanazioni radio-attive — Emissione di elio, argon e neon — Radio-attività eccitata — Radio-attività come proprietà generale della materia — Jonizzazione — Serie di raggi alfa — Lo spintariscopio — Efficienza della trasformazione di energia delle particelle alfa in energia luminosa — Gemme artificiali ..... *Pag.* 134

CAPO IX.

I tre principali tipi di radio-attività.

Relativa jonizzazione e penetrazione — Deviabilità delle particelle alfa nel campo magnetico od in quello elettrico — Identificazione delle particelle alfa coll'elio — La loro energia cinetica — Assorbimento e jonizzazione — Velocità — Deviabilità delle particelle beta — Loro velocità — Proprietà dei raggi gamma ..... *Pag.* 150

CAPO X.

Transmutazioni di sostanze radio-attive.

Prodotti di disintegrazione dell'uranio, del torio e dell'attinio — Il piombo quale probabilmente ultimo prodotto della disintegrazione dell'uranio ..... *Pag.* 160

CAPO XI.

Le età della terra e del sole e le origini probabili delle sostanze radio-attive.

Calcolo di Lord Kelvin circa i limiti dell'età probabile della terra — Radio-attività terrestre ed accrescimento indefinito dei limiti — L'età del sole e sua durata futura dedotta da considerazioni sulla energia — Aumento dovuto alla radio-attività solare — Tempera-

Digitized by Google

tura del sole e delle stelle colorate in modo svariato — Macchie solari e loro natura — La fotosfera e la cromosfera — L'energia esplosiva dovuta probabilmente a subitanea disintegrazione radio-attiva — Ipotesi di Arrhenius sulla formazione di sostanze radio-attive — Possibilità di evidenza confermativa dalle eruzioni vulcaniche terrestri ..... *Pag.* 169

CAPO XII.

La corona solare, l'aurora polare, e le code delle comete.

Pressione di radiazione alla superficie del sole — La corona — Coronio — Le irradiazioni fiammeggianti probabilmente dovute principalmente a particelle alfa e beta — Polvere solare e polvere vulcanica terrestre — Particelle piuttosto beta che alfa — Inflessione delle fiamme verso l'equatore del sole — Teoria di Arrhenius sull'aurora e la sua necessaria modificazione — Ripulsione di code di comete dal sole dovuta alla pressione di radiazione — La luminosità delle code delle comete può esser dovuta alla ionizzazione per mezzo di elettroni emessi dal sole ..... *Pag.* 183

CAPO XIII.

Radio-attività nelle stelle e nebulose.

Evidenza degli stati passati del sistema solare, che permettevano la formazione di sostanze radio-attive — Ipotesi di Laplace sulle nebulose — Obiezioni — Avvenire probabile del sistema solare — La nuova stella *Nova Persei*, la di lei prima apparizione, sviluppo e declinare — Nebulium — Nuvole luminose visibili quali anelli di espansione circolare con una stella come centro — Probabilmente dovuti a particelle radio-attive — Ipotesi alternativa rispetto alla natura loro — Una collisione tra soli estinti dà origine ad una stella nuova — Come la nebulosa risultante da una collisione passi per la forma a spirale alla forma di anello, e si sviluppi, coll'aggiunta di corpi immigranti, nel sistema solare — Origini probabili della luna e di altri pianeti, secondo le ricerche di Sir George Darwin e di H. Poincaré — Supposizione di Lord Kelvin che le depressioni formanti l'Oceano Atlantico ed il Pacifico siano cicatrici lasciate dalla separazione della luna — Come le orbite elittiche in una nebulosa sviluppantesi nel sistema solare tendano diventare circolari, mentre il piano dell'orbita si approssima al piano equatoriale del corpo centrale, e la rotazione assiale tende a divenire perpendicolare a questo piano — Origine di comete e meteoriti dagli immigranti minori e più lontani ..... *Pag.* 196

Digitized by Google

CAPO XIV.

Disposizione e numero di elettroni in un atomo.

Tipo di atomo di Lord Kelvin — Atomi contenenti anelli concentrici in uno stesso piano di elettroni in rivoluzione — Gruppi illustrativi di magneti galleggianti — La legge periodica — Paragone delle proprietà teoriche degli atomi con le proprietà, note per l'osservazione, degli elementi chimici — Valenza e sua variabilità — Vincoli di valenza che corrispondono a tubi di Faraday — Condizioni propizie per scambio chimico — Numeri probabili di elettroni in varî atomi — Conclusioni di Sir J. J. Thomson ..... *Pag.* 211

CAPO XV.

Modificazioni nell'aspetto dei principii fondamentali di meccanica.

Proemio — Principio di Carnot — Dissipazione dell'energia — Entropia — Ipotesi dimostrativa di Maxwell — Azione e reazione — Conservazione dell'energia — Relatività — Conservazione della materia — Azione minima ..... *Pag.* 224

CAPO XVI.

Gravitazione e coesione.

La legge di Newton sulla gravitazione quale ipotesi per risolvere un problema — La sua esattezza stabilita dall'astronomia con stretta approssimazione — Anomalie astronomiche — L'evidenza della sua validità a distanze moderate è indiretta — La sua esattezza a distanze sensibili dedotta dalla precisione sua astronomica — Esiguità della forza di gravitazione paragonata a quella elettrica — La gravitazione non può esser spiegata per mezzo di termini non-lineari nelle equazioni dell'etere — La trasmissione per mezzo di radiazione implica aberrazione ed una velocità di un ordine molto più elevato che quello della luce — Le principali anomalie astronomiche si possono spiegare per mezzo di una determinata rapidità di trasmissione e variazione di massa col moto — La gravitazione non è dovuta direttamente ad onde di etere compressionali od a effetti statici — Ipotesi elettrica di Lorentz — Obiezioni di Maxwell ad una trasmissione eterica rimosse dalla teoria degli elettroni — La quantità di materia positiva nell'universo non può essere infinita — L'esistenza di materia negativa è altrettanto possibile quanto quella positiva — Velocità di rotazioni di sistemi stellari — Velocità delle stelle — La piccola proporzione dell'area luminosa della sfera celeste in confronto colla totalità, non prova che il numero

Digitized by Google

di stelle debba essere finito — Coesione come conseguenza della gravitazione — Riferimenti di Newton alla necessità di un mezzo — Ipotesi di Le Sage — Modificazione di Jarolimek — La teoria di pulsazione — La sorgente perenne di etere e teoria dello smaltimento — Entrambe provvedono le forze non-elettro-magnetiche richieste per definire la scala della struttura atomica, ammettono la materia negativa, ed indicano una variabilità della massa di gravitazione colla velocità, come apparentemente è richiesta dagli elettroni per mezzo di anomalie astronomiche..... *Pag.* 235

CAPO XVII.

La sede della mente nell'universo.

La teoria fisica dei precedenti capitoli è capace di correlazione con tutto l'intiero complesso dei fenomeni materiali — I suoi due gradi, il sistema meccanico e quello molecolare — Loro relazione — Assunti erronei di Newton della speciale interposizione dell'Intelligenza primaria — Critica di Laplace — Simile necessità indicherebbe imperfezione nell'Intelligenza primaria — Poichè un universo di materia e di etere non può, in forza della sua costituzione, formare un sistema conservativo in assenza di una direzione intelligente che tenda ad uno scopo, l'esistenza dell'Intelligenza primaria è una condizione necessaria antecedente all'esistenza dell'universo — La direzione continua è possibile senza intervento diretto mediante l'osservata uniformità di natura — Illustrazioni non matematiche della natura della prova — Una semplice rappresentazione di consimile obbiezione — La mente universale come un'ipotesi ausiliaria per la soluzione del quesito — Modello mentale dell'universo — Il concetto dell'uniformità di natura dipendente dall'assunto dell'Intelligenza primaria alla quale la nostra propria è affine — L'universo conoscibile solamente quale si presenta alla nostra facoltà di conoscenza — È fuor di dubbio la quistione dell'esistenza di sè, come pure quella di un mondo esterno come realtà di fenomeno — La fisiologia mostra una correlazione tra i cambiamenti della facoltà di coscienza e quelli del cervello — Definizione della mente — Criterio di vita — Ipotesi psicologiche circa la correlazione tra i fenomeni mentali e quelli materiali — Il metodo d'attacco del fisico è di ritenere (a guisa di postulato) una relazione causale mutua come il passo necessario alla prima approssimazione — Nuova luce sulla questione di libero arbitrio o determinismo — Non è possibile alcuna semplificazione di mente, eccetto l'energia che costituisce l'estrema base della materia. — L'osservata correlazione di mente e materia implica una azione reciproca tra mente ed energia — La formazione dell'universo materiale spiegata coll'attribuire alla mente universale poteri differenti solamente in grado da quelli osservati negli esseri viventi — Questo

Digitized by Google

conferma ed estende l'argomento dello spirito selettore di Maxwell, e ne riceve pure conferma. — La distinzione tra materia vivente e non vivente coesiste colla continuità di fenomeni meccanici e molecolari, e consiste in una azione intesa a un fine — La materia vivente è materia associata colla mente — Ciaschedun organismo vivente può conferire vita a materia inanimata — La mente universale è quindi la sorgente della vita — Risposta dell'elettrico — Metalli — Cristalli — Colloidi — La monera — Darwin circa l'azione dotata di volontà nelle piante — Facoltà dell'uomo più altamente mentali ed etiche — Sistema « senza scopo » di Haeckel — La generalizzazione fisica conduce pure al concetto della mente universale — Limitazioni dell'argomento — Soltanto quegli aspetti dell'esterna realtà in relazione diretta con noi stessi sono presentati alla nostra cognizione — La subordinazione dell'energia alla mente, accoppiata colla natura della causalità, conduce ad una completa razionalizzazione dell'universo di Intelligenza e Natura — L'antica filosofia Vedica segue lo stesso nostro percorso in direzione opposta ..... *Pag.* 268

APPENDICE *A*.

« Il problema dell'Universo » di Haeckel.

La così detta legge di sostanza di Haeckel — Il di lui etere pre-newtoniano — Alcuni dei di lui paradossi — Carattere del di lui argomento — Minimum delle modificazioni richieste per convertire lo schema di Haeckel in una forma scientifica ..... *Pag.* 345

APPENDICE *B*.

Un semplice esperimento di trasferimento di pensiero ed una ipotesi per mezzo della quale esso può essere spiegato

Descrizione dell'esperimento — Stimolo richiesto per produrre luce e colore, rispettivamente — Radiazione di bassa frequenza — Raggi Blondlot — Il trasferimento del pensiero probabilmente era mezzo di comunicazione più primitivo della parola articolata ..... *Pag.* 357

APPENDICE *C*.

Trasmutazione di elementi.

Conferenza di Sir William Ramsay all'Istituto Chimico di Roma — Formazione di sei elementi — Il neon e la sua parte importante nella natura — Esperienze relative — Conclusioni..... *Pag.* 365

Indice alfabetico ..... *Pag.* 373

Digitized by Google

Digitized by Google

CAPO I.

Fenomeni elettrici fondamentali.

Se una bacchetta di vetro, ben asciutta, viene strofinata con un'altra di resina o di ebonite, e le due bacchette vengono sospese per mezzo di fili asciutti di seta greggia, in tale modo che esse possano muoversi liberamente, si vedrà che esse si attraggono l'una coll'altra; ma due bacchette di ebonite strofinate con vetro, o due bacchette di vetro strofinate con ebonite, si respingeranno l'una coll'altra.

Si dice allora che le bacchette sono elettrizzate, ed il fatto che esse esibiscono due fenomeni distinti, cioè attrazione e ripulsione, dimostra che vi sono due distinti generi di elettrizzazione. Quella del vetro è detta elettrizzazione vitrea, e quella dell'ebonite è denominata elettrizzazione resinosa. Lo strofinamento è soltanto uno dei tanti metodi di produrre l'elettrizzazione.

Se ciascheduna delle bacchette strofinate è portata vicino ad un corpo leggero, come una pallottola di un midollo vegetale sospesa per mezzo d'un filo secco di seta, la pallottola sarà dapprima attratta dalla bacchetta e poi respinta. Quando essa viene respinta da una bacchetta elettrizzata vitreamente, essa sarà attratta da una bacchetta elettrizzata resinosamente; ma, dopo di essere venuta a contatto con quest'ultima, essa ne sarà immediatamente respinta, e sarà allora attratta dalla bacchetta elettrizzata vitreamente.

Codesti esperimenti dimostrano che la pallottola, nel venire a contatto con la bacchetta elettrizzata, riceve un'elettrizzazione consimile a quella della bacchetta, cosicchè l'elettrizzazione è una proprietà che può essere trasferita da un corpo ad un altro per contatto. Ciò che è trasferito chiamasi elettricità. Dal fatto che vi sono due generi di elettrizzazione non si deduca che necessariamente vi siano due sorta pure

Digitized by Google

di elettricità. Noi vedremo più tardi che vi sono motivi per credere alla esistenza di due sorta d'elettricità, ma come in questi esperimenti sia soltanto l'elettricità resinosa quella trasferita.

Dappoichè una pallottolina di midollo agisce come un indicatore di elettrizzazione, essa può essere detta un elettroscopio; ma un elettroscopio molto più sensibile può esser fatto coll'attaccare due simili striscie di fogli d'oro all'estremità inferiore di una verga di metallo tenuta verticale per mezzo di un sostegno di vetro ben asciutto. Siccome il vetro ha una tendenza di condensare umidità dall'aria sulla sua superficie, esso dovrebbe essere rinchiuso in una cassetta di vetro, che conterrà pure una capsula od un tubetto con acido solforico, il quale, essendo avido di acqua, conserverà l'aria asciutta, assorbendone tutta l'umidità. L'estremità superiore della verga di metallo, dell'elettroscopio a foglie d'oro, potrà essere convenientemente preparata facendola terminare in una lastra metallica piatta od un piccolo disco.

Se una pallottolina di midollo elettrizzata viene sollevata per mezzo del suo filo di seta e vien posta sul disco dell'elettroscopio, si vedranno divergere leggermente le foglie d'oro, e questa divergenza può essere aumentata col disporre altre pallottole similmente elettrizzate, sul disco, oppure con una pallottola sola, facendole toccare alternativamente, prima una bacchetta elettrizzata, poi il disco dell'elettroscopio successivamente parecchie volte. Se la pallottola, dopo di aver toccata la bacchetta carica, è toccata dal dito, oppure da una verga metallica tenuta colla mano, prima di essere collocata sul disco dell'elettroscopio, essa non aumenterà la divergenza delle foglioline d'oro. Questo dimostra che essa ha perduto la sua elettrizzazione; e noi vediamo che mentre il dito e le verga metallica lasciano sfuggire l'elettricità, il sostegno di vetro asciutto ed il filo di seta asciutto non lo concedono. I primi vengono detti conduttori di elettricità, ed i secondi isolatori. Questa è soltanto una classificazione all'ingrosso; poichè i migliori isolatori permettono, col tempo, ad una carica di elettricità di sfuggire. I metalli sono i migliori conduttori, e scaricheranno istantaneamente un elettroscopio. Il dito farà lo stesso, sebbene metodi più sensibili di misurazione mostreranno che esso è un conduttore molto peggiore d'ogni metallo, mentre i metalli, sebbene tutti buoni conduttori, differiscono considerevolmente tra di loro stessi per questo riguardo.

Un sostegno di vetro asciutto, scevro da piombo, riterrà una carica per molti giorni. L'acqua è discretamente buon conduttore; e questa

Digitized by Google

è la ragione per cui il vetro ed il filo di seta devono esser conservati asciutti. Il potere isolatore della seta è molto minore di quello del cristallo di silice.

Facciamo una cuffia di lana adattata attillatamente sull'estremità di una bacchetta d'ebonite, ed attacchiamola ad un filo di seta asciutto. Rivestiamo l'estremità della bacchetta colla sua cuffia, e facciamola roteare parecchie volte per strofinarla contro la bacchetta. Portate adesso l'estremità della bacchetta colla sua cuffia sopra il disco dell'elettroscopio. Non vi sarà divergenza delle foglie. Rimuoviamo la cuffia dall'estremità della bacchetta per mezzo del filo di seta, e teniamo prima l'estremità della bacchetta, e quindi la cuffia, sopra il disco. In ognuno dei due casi avrà luogo la divergenza delle foglie, ma nel rimuovere gli oggetti senza lasciar loro toccare il disco le foglie si riaccosteranno completamente. Questa è detta elettrizzazione per induzione. Se una seconda bacchetta di ebonite strofinata con vetro è portata vicino al disco quando le foglie sono divergenti per elettrizzazione della prima bacchetta, la divergenza sarà ancora accresciuta; ma se questo vien fatto quando le foglie sono divergenti per causa della cuffia di flanella, la divergenza loro sarà diminuita. La prima bacchetta era quindi elettrizzata in un modo consimile alla seconda, cioè resinosamente, mentre la cuffia di flanella era elettrizzata vitreamente. Dacchè ciascuna delle due, cioè tanto la prima bacchetta quanto la flanella, erano capaci di produrre divergenze separatamente, ma che nessuna divergenza era prodotta dalla bacchetta e dalla cuffia insieme, ne segue che le elettrizzazioni loro erano tali che la loro somma era zero.

In altre parole, la loro relazione era quella di quantità, positiva e negativa, di uguale grandezza, per modo che la frizione della cuffia sulla bacchetta non cagionava generazione effettiva di elettricità, ma solamente un trasferimento di qualche cosa, che non era semplicemente una qualità fisica, ma una quantità fisica, qualunque potesse essere la sua natura.

Questo conferimento può consistere in un flusso di elettricità positiva dall'ebonite alla flanella, oppure di elettricità negativa dalla flanella all'ebonite, o di tutte e due in combinazione. Gli esperimenti, sin qui, non danno motivo per scegliere una spiegazione qualunque di quelle tre supposizioni; ma dal punto di vista della semplicità, le prime due sono da preferirsi alla terza: e di quelle io sceglierò la seconda ed ammetterò che quanto vien trasferito sia elettricità negativa, ossia

Digitized by Google

resinosa, e questa è la conclusione che noi troveremo indicata in un punto più inoltrato.

Se i primi sperimentatori i quali hanno deciso di dare il nome di elettricità positiva a quella vitrea fossero stati in grado di conoscere quanto noi ora sappiamo, essi, senza dubbio alcuno avrebbero dato nome di positiva all'elettricità resinosa, e di negativa a quella vitrea. Noi vedremo più innanzi che vi è una grandissima evidenza che conduce alla conclusione che certe piccole particelle elettrizzate negativamente, delle quali si sarà dimostrato che agiscono quali apportatrici della corrente elettrica nei fenomeni della scarica nei tubi vuoti e nella radioattività, cioè quando saranno emesse da molte di quelle sostanze dette radioattive, altro non sono fuorchè delle cariche di elettricità negativa, affatto privè della materia consueta. Queste particelle sono conosciute col nome di *elettroni negativi*.

I risultati degli antecedenti esperimenti possono quindi essere espressi nei termini di questa ipotesi, come segue:

1° quando vien prodotta elettrizzazione mediante lo strofinamento di due corpi, ha luogo un passaggio di elettroni negativi dall'uno all'altro dei corpi, cosicchè l'uno perde e l'altro riceve un certo numero di elettroni negativi;

2° un paio di corpi, l'uno dei quali ha acquistato e l'altro ha perduto, degli elettroni negativi, si attrarranno l'un l'altro (1);

3° un paio di corpi, entrambi i quali hanno acquistato o perduto, elettroni negativi, si respingono l'un l'altro;

4° alcuni corpi permettono agli elettroni negativi di attraversare la loro sostanza con facilità somma, ed altri soltanto con difficoltà. La prima classe è detta dei buoni conduttori elettrici, e l'ultima dei cattivi conduttori ossia isolatori. Se si potesse trovare un qualche corpo che permettesse agli elettroni, tanto positivi, che negativi, di attraversare la sua sostanza senza offrire una qualche resistenza al loro passaggio, quello costituirebbe un conduttore perfetto; mentre se un qualche corpo potesse essere trovato che non concedesse affatto il pas-

---

(1) Tutte le sostanze materiali esercitano un'attrazione di gravitazione, l'una sopra l'altra, ma questa è così piccola che essa può essere negletta in paragone delle azioni elettriche; un metodo che è più conveniente che l'introdurre clausole qualificative continuamente ricorrenti, che si riferiscono all'attrazione di gravitazione.

Digitized by Google

saggio degli elettroni attraverso la propria sostanza, esso costituirebbe un perfetto *non-conduttore*, ossia un isolatore perfetto.

Si vedrà che, sino a questo punto, tale ipotesi corrisponde strettamente alla teoria elettrica di un solo fluido di Beniamino Franklin.

Sebbene essa rappresenti perfettamente i fatti, ve n'ha uno rispetto al quale essa non appare intieramente soddisfacente alla mente, e rispetto al quale essa non offre una qualche spiegazione del fatto che non vengono dimostrate reazioni elettriche dai corpi contenenti un numero normale di elettroni, eccetto quando essi sono portati nelle vicinanze di corpi che ne contengono un eccesso od un difetto, nel quale caso, se i primi sono conduttori, ha luogo un'induzione elettrica.

Egli è stato per rimediare a questo difetto che Symmer ha proposto la teoria dei due fluidi, la quale presupponeva che i corpi non elettrizzati contenessero eguali quantità di elettricità positiva e di quella negativa. Ora, l'esistenza di elettroni positivi non può presentemente essere considerata siccome definitivamente dimostrata dal loro isolamento sperimentale, sebbene le recenti ricerche di alcuni fisici li abbiano indotti a credere che ad essi sia riuscito di ottenerli isolati. Noi vedremo tuttavia, che la spiegazione dei fenomeni elettrici secondo i principii di Faraday, che escludono l'azione diretta a distanza, e consentono soltanto un'azione che ha luogo direttamente tra porzioni contigue di un mezzo continuo, implica necessariamente l'associazione con tutti gli elettroni negativi di un numero corrispondentemente uguale di elettroni positivi. I fatti sperimentali però appaiono dimostrare che gli elettroni positivi sono di rado, se mai lo sono, dissociati dalla materia, oppur capaci di muoversi liberamente attraverso corpi solidi, l'ultima proprietà apparendo essere ristretta ad una certa proporzione di elettroni negativi, perciò conosciuti come *elettroni liberi*. Il presente punto di vista è quindi praticamente una modificazione dell'antica teoria dei due fluidi nella quale il fluido positivo è supposto essere fissato dagli atomi materiali, e soltanto una parte del fluido negativo è mobile.

Noi possiamo ora spiegare le attrazioni e le ripulsioni che avvengono tra corpi elettrizzati, per mezzo di azioni tra i soli elettroni, col presupporre che elettroni di genere simile si respingano l'un l'altro, mentre s'attraggono l'un l'altro gli elettroni di opposto genere. Un corpo nella condizione normale, ossia non elettrizzato, sarà un corpo che contiene altrettanti elettroni negativi, quanto di quelli positivi, distribuiti per tal modo da neutralizzare l'uno la rispettiva azione dell'altro.

Digitized by Google

Se qualcuno degli elettroni negativi in tale corpo è spostato per l'azione di una elettrizzazione esterna, senza peraltro diventar separato dal corpo, essi non possono più a lungo neutralizzare l'uno l'azione dell'altro, ed il corpo sarà elettrizzato per induzione. Per esempio, quando la bacchetta d'ebonite, che è stata strofinata dalla cuffia di flanella, era portata separatamente vicino al disco dell'elettroscopio, la divergenza delle foglie d'oro sarebbe spiegata dall'essere gli elettroni negativi respinti dal disco alle foglie per l'eccesso di elettroni negativi nella bacchetta. La cuffia di flanella, d'altra parte, avrebbe una deficienza di elettroni negativi e vi risulterebbero quindi in eccesso gli elettroni positivi. Questa estrarrebbe quindi gli elettroni negativi dalle foglie nel disco, lasciando un eccesso di elettroni positivi nelle foglie, le quali, per conseguenza, divergerebbero di nuovo. Se, mentre il corpo che influenzava rimaneva presso il disco, quest'ultimo fosse stato connesso colla terra od altro largo conduttore, col toccar questo, per esempio, col dito, gli elettroni negativi liberi sarebbero spinti al di là dell'influenza della bacchetta elettrizzata nel primo caso, e le foglie si chiuderebbero, per effetto della rimozione degli elettroni negativi liberi, che avevano cagionato la divergenza loro. Il disco, essendo più vicino che le foglie alla bacchetta che influenza, suol contenere una proporzione minore di elettroni negativi mobili; ma alla rimozione della bacchetta avrebbe luogo una ridistribuzione, alcuni di quelli delle foglie passando nel disco, il quale pertanto condividerebbe la sua deficienza di elettroni negativi colle foglie, per modo che tanto le foglie quanto il disco avrebbero adesso una deficienza di elettroni negativi e le prime di nuovo divergerebbero. L'intiero elettroscopio avrebbe acquistato una carica permanente positiva. Se la cuffia di flanella fosse impiegata quale corpo influenzante, le foglie pure si chiuderebbero quando il disco fosse connesso alla terra od a un altro largo conduttore, perchè gli elettroni negativi sarebbero tratti da quest'ultimo finchè le foglie fossero divenute neutrali, ed un eccesso di elettroni negativi fosse mantenuto nel disco dall'attrazione della flanella. Nel rimuovere quest'ultima vi sarebbe una ridistribuzione di elettroni negativi sopra foglie e disco, per mezzo di un flusso da questo a quelle. Le foglie quindi divergerebbero nuovamente restando l'elettroscopio con una carica permanente negativa.

Se due corpi sono elettrizzati per mezzo di strofinamento l'uno coll'altro, per modo da diventare egualmente ed oppositamente elet-

Digitized by Google

trizzati, e sono allora introdotti senza toccarlo, in un recipiente metallico chiuso che posa sul disco dell'elettroscopio, qualunque siano le posizioni loro dentro il recipiente, non vi sarà divergenza delle foglie. Questo dimostra che il recipiente non ha ricevuto elettrizzazione.

Se uno dei due corpi viene rimosso, le foglioline divergeranno, ed esse divergeranno sino ad uno stesso punto, qualunque sia il corpo rimosso. Quando il secondo corpo è pur rimosso, le foglioline naturalmente si chiuderanno completamente. Quest'esperimento è dovuto a Faraday.

Se due corpi ugualmente ed oppositamente caricati sono conduttori (essi devono naturalmente essere sopportati da sostegni isolatori, fili o bacchette), e si lascia che uno di essi tocchi l'interno del recipiente, mentre l'altro, pur stando all'interno, non tocca il recipiente, non si produrrà sulle foglie un effetto immediato; ma quando entrambi i corpi sono rimossi divergeranno le foglie, e si troverà che il corpo il quale ha toccato l'interno del recipiente ha perduto intieramente la sua carica. mentre l'altro conserverà la sua carica completa.

Se un numero di conduttori carichi, alcuni dei quali possono essere positivi ed altri negativi, sono successivamente introdotti nel recipiente chiuso e li si lasciano venirne a contatto, e poi sono ritirati, si troverà che ciascuno ha dato via l'intiera carica sua, e la carica del recipiente sarà trovata uguale alla somma algebrica delle cariche dei conduttori separati. Questo ci fornisce un metodo pratico di addizionare insieme le cariche elettriche di un numero di corpi. Ciò dimostra altresì che l'elettrificazione di un conduttore in una condizione di equilibrio deve essere intieramente confinata alla superficie.

Una semplice modificazione di quest'ultimo esperimento ci porrà in grado di ottenere una carica uguale a qualche multiplo di una carica determinata che può essere presa come unità provvisoria.

Introducete un corpo avente una carica determinata in un recipiente metallico isolato. Ponete quest'ultimo per un momento in comunicazione colla terra. Tutti i segni di elettrizzazione spariranno. Ritirate il corpo carico senza lasciarlo toccare il recipiente. Quest'ultimo sarà allora caricato con una carica uguale ed opposta a quella determinata.

Introducete allora il recipiente carico in simil modo in un recipiente più grande, chiuso ed isolato e lasciate che il primo tocchi il secondo, ed esso cederà l'intera carica sua al recipiente esterno. Il recipiente

Digitized by Google

minore può quindi essere caricato una seconda volta di un'uguale quantità, e questa seconda carica similmente ceduta al recipiente maggiore; e questo procedimento può essere ripetuto altrettante volte quante si desiderano.

Se due corpi le cui dimensioni sono piccole rispetto alla distanza r, che è interposta tra di essi, ricevono le cariche e_1 ed e_2, la forza che agisce tra di essi, per un dato mezzo *dielettrico*, vale a dire isolatore, sarà proporzionale al prodotto delle cariche diviso per il quadrato della distanza che separa i due corpi; e cioè avremo l'espressione $\frac{e_1 e_2}{r^2}$.

Questo risultato fu ottenuto da Coloumb per il primo, mediante esperimenti colla bilancia di torsione; ma consimili misurazioni non sono guari suscettibili di molta accuratezza, ed una prova di gran lunga più esatta di questa legge si ottiene dalla considerazione che essa è una conseguenza matematica del fatto che un conduttore collocato dentro ad un conduttore concavo chiuso, e lasciato venire a contatto con quello, cede a quello tutta la carica sua.

Ogni superficie o spazio compreso nella zona d'influenza di un corpo elettrizzato vien detto un *campo elettrico*.

Un corpo elettrizzato collocato dovunque in un campo elettrico sopporterà una forza in virtù della sua elettrizzazione. Se il corpo e la sua carica sono troppo piccoli per cagionare qualche sensibile alterazione nel campo, questa forza, agente sul corpo in ogni data posizione, sarà proporzionale alla carica di esso, e la sua direzione sarà invertita se il segno della carica è invertito. Se queste condizioni non sono soddisfatte, la forza in generale, dipenderà dalla carica e dalle dimensioni e dalla forma del corpo.

Se e è la piccola carica del piccolo corpo, la forza che agisce su quello ad un punto qualunque del campo sarà quindi della forma $\mathsf{E}e$, dove E è una quantità dipendente dai corpi elettrizzati ai quali è dovuto il campo. La *forza elettrica* al dato punto del campo vien detta E, ed è stampata in carattere *pesante* per chiamare l'attenzione sul fatto che essa è una quantità che ha direzione, come pure ha grandezza, ossia ciò che viene denominata una *grandezza vettoriale*. Poichè essa non tende solamente a muovere un corpo elettrizzato, ma a muovere l'elettricità entro il corpo (per modo che gli elettroni negativi sarebbero spostati nella direzione opposta a quella di E), Maxwell la chiamò pure la *forza elettromotrice al punto*.

Digitized by Google

Il lavoro totale fatto su un piccolo corpo dalle forze elettriche, quando esso è mosso da un punto dato nel campo ad un punto al di là dell'influenza del campo, sarà indipendente dal percorso seguito se il campo è elettrostatico, vale a dire, solamente dovuto alla presenza di corpi stazionari elettrizzati, e sarà proporzionale ad e cosicchè esso può venir rappresentato con Ve. La quantità V è quindi chiamato il *potenziale* al punto dato.

Se la carica e potesse essere fatta uguale all'unità senza sensibile disturbo per il campo, il potenziale a qualsiasi punto sarebbe quindi misurato dal lavoro fatto sopra un corpo caricato con un'unità di elettricità nel muoverlo dal punto sino ad una distanza infinita. La forza elettrica in ogni data direzione a qualsiasi punto di un campo elettrostatico è uguale al rapporto di diminuzione del potenziale a quel punto dovuto ad uno spostamento nella direzione data. Questa è una semplice conseguenza matematica della definizione del potenziale (1). La direzione della forza risultante sarà quindi quella direzione in cui il rapporto di cambiamento del potenziale è il massimo.

Ne consegue che un corpo elettrizzato positivamente tenderà a muoversi da posti di più alto potenziale positivo, verso posti di potenziale positivo più basso, o di potenziale negativo; ed un corpo elettrizzato negativamente — per esempio un elettrone negativo — tenderà a muoversi nella direzione opposta. Da ciò si deduce che quando l'elettricità è in equilibrio in un conduttore, tutte le parti del conduttore devono essere ad uno stesso potenziale.

Una superficie inscritta in un campo elettrico per modo tale che il potenziale elettrico sia lo stesso ad ogni punto di essa, vien detta una *superficie equipotenziale* o *superficie di livello*. Egli è evidente che la superficie di un conduttore in equilibrio deve essere una superficie di questo genere.

Una linea tracciata da un punto muoventesi sempre nella direzione della forza in un campo elettrico (o altro) di forza è chiamata una linea

---

(1) *Nota matematica.* — Sia r la distanza di un punto P da un punto elettrizzato carico di una quantità e di elettricità, allora il potenziale V al punto P, dovuto alla carica e, sarà per definizione il lavoro fatto contro la forza elettrica dovuta ad e nel portare un'unità di carica da una distanza infinita al punto P. Questo si trova dividendo l'intero percorso dell'unità di carica in porzioni elementari, esprimenti il lavoro fatto nell'attraversare ciascun elemento come il prodotto della lunghezza dell'elemento nella forza elettrica,

Digitized by Google

di forza. Poichè le linee di forza non possono avere componenti lungo le superfici equipotenziali, esse devono tagliarle ovunque ad angoli retti; e, come caso speciale, le linee di forza devono sempre entrare nella superficie di un conduttore in equilibrio, od abbandonarla, ad angolo retto. Se due conduttori a potenziali diversi sono congiunti da un filo conduttore sottile, la tendenza dell'elettricità a scorrere lungo il filo sarà proporzionale alla differenza nei potenziali dei due conduttori.

Questa differenza di potenziale è quindi detta essere la forza elettromotrice tra quei conduttori. La forza elettromotrice è un termine più generale che differenza di potenziale, quest'ultima essendo soltanto una delle cause che possono dar origine alla forza elettromotrice. La forza elettromotrice E tra due punti deve essere accuratamente distinta dalla forza elettrica F ad un punto, la prima essendo ottenuta dall'addizione lungo una linea che congiunge i due punti, del lavoro fatto dall'ultima sopra un'unità di carica. In linguaggio matematico, E è la *linea integrale* di F, presa tra i due punti come limiti.

Se un conduttore è isolato mentre tutti i conduttori vicini sono tenuti al potenziale zero, coll'essere congiunti colla terra, il rapporto nato dalla

---

al posto occupato dall'elemento, derivato dalla legge di forza data sopra, e quindi sommando insieme l'infinito numero delle quantità infinitesimamente piccole di lavoro così ottenute. La somma per tal modo ottenuta come il valore di V *è* $\frac{e}{r}$ cioè:

$$V = \int_r^\infty F dr = \int_r^\infty \frac{e}{r^2}\, dr = \frac{e}{r}.$$

E nuovamente poichè:

$$\frac{dV}{dr} = \frac{d\,\frac{e}{r}}{dr} = \frac{e}{r^2}.$$

ne segue che la forza $\frac{e}{r^2}$ agente ad ogni punto distante r dalla carica elettrica e è uguale al rapporto di cambiamento di V nella direzione di r, e la forza in qualsiasi altra direzione facente un angolo θ con r è $\frac{dV}{dr}\cos\theta$, che è il rapporto di cambiamento di V nella nuova direzione, il che prova quanto si è esposto in questo semplice caso. Per un numero di cariche e_1, e_2, e_3, ecc. a distanze r_1, r_2, r_3, etc. da P, noi dovremmo avere:

$$V = \frac{e_1}{r_1} + \frac{e_2}{r_2} + \frac{e_3}{r_3} + \text{ecc.} = \Sigma\frac{e}{r}.$$

Digitized by Google

carica elettrica sopra il conduttore isolato al di lui potenziale è detto la sua *capacità*. Un sistema consistente in un paio di conduttori separati da uno strato sottile di un materiale isolatore è usualmente chiamato un condensatore. Si trova che la sua *capacità* è direttamente proporzionale all'area delle superfici opposte ed inversamente proporzionale allo spessore dell'isolatore. Ciò dipende pure dalla natura di quest'ultimo. Il rapporto della *capacità* di un condensatore con un dato isolatore, o dielettrico, fu chiamato da Faraday la *Capacità specifica induttiva* del dielettrico, mentre Maxwell l'ha denominata la *Costante dielettrica*.

È stato conosciuto da remotissimi tempi, che il minerale di ferro comunemente chiamato calamita possiede alcune proprietà notevolissime:

1° se una particella di esso è sospesa liberamente sopra qualunque parte della superficie terrestre eccettochè ai poli magnetici, essa, generalmente tenderà ad assumere una certa direzione determinata;

2° esso ha il potere di attrarre fortissimamente il ferro ed in grado minore certe altre sostanze come, ad esempio, i metalli nickel e cobalto;

3° queste due proprietà possono essere comunicate a pezzi di ferro o di acciaio per puro contatto, e più effettivamente collo strofinare queste sostanze in un certo modo con un pezzo di calamita. Esse acquistano pure il potere di trasmettere queste proprietà ad altri pezzi di ferro o di acciaio. I corpi che posseggono simili proprietà vengono detti magneti. Pezzi di ferro dolce magnetizzati nel precedente modo o per mezzo di altri metodi più convenienti, perdono presto le loro proprietà magnetiche, ma si è trovato che i pezzi d'acciaio le conservano.

Le estremità di un magnete lungo e sottile sono usualmente dette i suoi *poli*, e la linea retta che li congiunge è detta l'*asse* del magnete.

Nel caso di un magnete indefinitamente lungo e sottile, uniformemente magnetizzato per tutta la sua lunghezza, le estremità agirebbero come centri di forza, ed il resto di quello non esibirebbe proprietà magnetiche. Fili di acciaio lunghi, sottili, e magnetizzati si approssimano a queste condizioni, e col sospenderli ad una bilancia di torsione, Coulomb riuscì a dimostrare che la legge di forza tra due poli magnetici è consimile a quella tra due cariche elettriche, sostituendo la forza di un polo coll'ammontare di una carica elettrica. Un'unità polo magnetico può quindi essere definita come un polo indicante il Nord, che quando è collocato all'unità distanza da un uguale e consimile polo, lo respinge coll'unità di forza.

Digitized by Google

Un polo indicante il Sud è ritenuto quale polo negativo.

Il prodotto della lunghezza di un magnete lungo, sottile ed uniformemente magnetizzato, per la forza del suo polo positivo è denominato il suo *momento magnetico.*

La vicinanza di un magnete o di un sistema di magneti, costituirà un campo di forza magnetica. Le linee di forza in qualunque sezione prima di un campo consimile possono essere rese evidenti in una maniera veramente semplice, impiegata da Gilbert qualche duecento anni prima, ma il significato del risultato fu riconosciuto da Faraday per il primo, purchè il sistema possa essere assestato per modo da portare il piano desiderato in una posizione approssimativamente orizzontale.

Un foglio di carta rigida è fissato in questo piano orizzontale e della limatura di ferro è sparsa leggermente sovra di esso attraverso ad uno staccio formato di finissima tela metallica o di mussola. Ciascun granello della limatura allora diventerà un magnete sotto l'azione della forza magnetica, e tenderà ad assestarsi colla sua più grande lunghezza in direzione della linea di forza al punto dove essa cade sulla carta. Un campo di forza magnetica che è uniforme e parallelo attraverso lo spazio occupato da un magnete collocato in esso soltanto eserciterà un'azione direttiva sul magnete e non tenderà a farlo muovere corporalmente lungo le linee di forza, il che dimostra che i due poli di un magnete devono essere numericamente uguali in forza.

Questo è facilmente verificato dal galleggiare di un ago magnetico sopra un pezzo di sughero sull'acqua, dacchè il campo magnetico della terra è sensibilmente parallelo ed uniforme entro lo spazio occupato dall'ago. Il sughero e l'ago assumeranno una certa direzione, cioè quella in cui la lunghezza dell'ago giace tanto vicino quanto è possibile alla direzione della forza magnetica, ma non vi è movimento del corpo, tutto insieme, in qualsiasi direzione.

Se un magnete lungo e sottile che non dimostra proprietà magnetiche eccettochè alle estremità è rotto in un certo numero di pezzi, ciascuno di questi formerà un magnete con poli uguali ed opposti. Se questi pezzi sono tutti ricollocati nelle loro rispettive posizioni, essi ricostituiranno semplicemente il magnete originale, non dimostrando proprietà magnetiche eccetto che alle due estremità libere.

Questo suggerì a Weber una teoria di magnetizzazione, o *induzione magnetica*, la quale, come di poi fu modificata da Hugues, è stata da tutti accettata. La teoria modificata presume che ciascuna molecola

Digitized by Google

di una sostanza magnetica, vale a dire di una sostanza capace di essere messa in azione sotto una forza magnetica, è essa stessa un magnete, ma che, nello stato della sostanza non magnetizzata, questi magneti molecolari si raggruppano in circuiti chiusi o catene. In quel caso le azioni magnetiche delle molecole si neutralizzerebbero l'una coll'altra, per modo che il corpo non agirebbe come un magnete. Tuttavia, se uno dei poli del magnete fosse portato vicino ad esso, questo polo attrarrebbe i poli dissimili delle molecole, e respingerebbe i poli simili, con il risultato di interrompere le catene molecolari e lasciando le molecole libere di girarsi in quelle posizioni con i loro assi magnetici pressochè in direzione della forza magnetica.

Le azioni magnetiche delle molecole si rinforzerebbero allora l'una coll'altra, cosicchè il corpo sarebbe convertito in un magnete con polarità opposta nella porzione più vicina al polo del magnete induttore. L'intensità della magnetizzazione del corpo, cioè il rapporto del di lui momento magnetico al suo volume, sarebbe quindi aumentata dall'aumento della forza magnetizzante, ed anche da ogni procedimento che accrescerebbe la mobilità delle molecole; per esempio, dal porle in vibrazione per mezzo di scosse meccaniche mentre sono sotto l'influenza della forza magnetica, oppure col riscaldare la sostanza, e lasciandola raffreddare sotto l'influenza della forza magnetica. Questi risultati sono in pieno accordo con i fatti osservati. La teoria riceve ulteriore conferma dai cambiamenti di forma che trovansi compagni della magnetizzazione, e dai piccoli suoni uditi quando il ferro è subitamente magnetizzato o smagnetizzato per mezzo di una corrente elettrica.

La prima connessione definita tra i fenomeni magnetici ed altri fenomeni elettrici, fu stabilita dal fisico svedese Oersted nell'anno 1820. Parecchi osservatori avevano previamente avvertito casi in cui il magnetismo appariva essere prodotto o distrutto in aghi d'acciaio per mezzo di scariche elettriche attraverso ad essi o vicino ad essi. Queste osservazioni condussero a varie congetture circa la relazione tra elettricità e magnetismo, ed Oersted dapprima fece numerosi tentativi senza successo per trovare qualche relazione tra magneti e corpi carichi con elettricità. Fu nel provare l'effetto di un filo riscaldato da una corrente elettrica sopra un magnete che Oersted fece la sua grande scoperta. Egli trovò tosto che l'effetto osservato era dovuto all'azione diretta della corrente medesima, e non al suo effetto calorifico. Egli trovò che un ago magnetico posto vicino ad un filo percorso da una

Digitized by Google

corrente elettrica tendeva a collocarsi ad angolo retto col filo, colla stessa estremità sempre tendente avanti, mentre che il magnete era mosso attorno al filo. Egli descrive questo molto appropriatamente colla frase « il conflitto elettrico agisce in un modo rotatorio ». Egli ha pure osservato che la direzione dell'ago era invertita quando la direzione della corrente era invertita.

Il soggetto fu in breve portato innanzi da Ampère, il quale stabilì che la direzione di deviamento era tale che ad una persona giacente nel senso del conduttore, colla faccia rivolta verso il magnete, colla corrente diretta dai piedi suoi al capo suo, il polo Nord dell'ago si girerebbe sempre verso la di lui sinistra. Ampère scoperse pure che conduttori percorsi da correnti elettriche si attraggono o si respingono l'un l'altro appunto come magneti, e provò sperimentalmente che l'azione magnetica di un piccolo circuito piano, a distanze che sono grandi paragonate colle dimensioni del circuito, è proporzionale a quella di un magnete il di cui asse sia perpendicolare al piano del circuito, ed il cui momento magnetico sia uguale all'area del circuito moltiplicata per la forza della corrente. In altre parole, egli ha dimostrato che l'azione del circuito è uguale a quella del magnete, purchè l'unità per misurare la forza della corrente sia convenientemente scelta.

Noi vediamo, allora, che lo spazio nella vicinanza di un conduttore percorso da una corrente elettrica può essere considerato come un campo magnetico. Un campo magnetico prodotto dall'azione di correnti elettriche in conduttori è usualmente detto un campo elettro-magnetico, e la forza magnetica è detta talvolta forza elettro-magnetica.

La scoperta dell'azione mutua di correnti elettriche e di magneti ha fornito i mezzi di palesare la presenza di correnti elettriche e di paragonarle quantitativamente. Ampère per il primo impiegò un ago da bussola sospeso entro una fibbia di filo verticale, facente parte di un circuito elettrico, quale rivelatore di corrente, e lo denominò un galvanometro.

La fibbia era collocata in modo che l'ago stava nel piano di essa quando non passava per essa corrente alcuna. Schweigger perfezionò questa disposizione col sospendere l'ago entro una serie di anelli di filo, invece di un giro solo; e nel 1837 Pouillet modificò lo strumento in tal guisa da renderlo atto a paragonare con esattezza le forze di due correnti per mezzo dei rispettivi deviamenti dell'ago. Nel 1846 Weber inventò uno strumento in cui ad una corrente elettrica si faceva attra-

Digitized by Google

versare successivamente un rotolo fisso ed un altro piccolo mobile sospeso entro quello. Egli diede a tale strumento il nome di elettrodinamometro. Per mezzo di esso una corrente può venire misurata dal deviamento del rotolo sospeso.

La similarità degli effetti magnetici di magneti e di correnti elettriche suggerì ad Ampère che il magnetismo molecolare della teoria di Weber, potrebbe essere spiegato colla supposizione che ciascuna delle molecole abbia una corrente elettrica che circola attorno ad essa. Le correnti sarebbero poi portate ad un parallelismo approssimativo quando un corpo fosse magnetizzato. Le correnti fluenti in direzioni opposte attorno alle porzioni adiacenti di due molecole vicine distruggerebbero ciascuna gli effetti dell'altra, per modo che una bacchetta magnetizzata sarebbe considerata come equivalente ad una serie di correnti fluenti nella stessa direzione attorno alla sua superficie.

Ciò rassomiglierebbe perciò ad un'*elica* (1) che porti una corrente elettrica, il che è generalmente conosciuto col nome di *solenoide*.

Al tempo in cui questa teoria era stata messa in campo essa sottostava all'obbiezione che ciascun conduttore, fra quanti noi ne conosciamo, viene riscaldato dal passaggio di una corrente elettrica, mentre che queste correnti molecolari dovrebbero essere supposte prive di tale effetto calorifico, poichè altrimenti una sostanza magnetica fornirebbe una provvista continua di calore, il che sarebbe in contrasto colla esperienza.

Questa difficoltà sparisce nel moderno modo di vedere, considerato in un capitolo più avanti, poichè, secondo esso, queste correnti molecolari sono dovute ai moti orbitali incontrastati di elettroni entro gli atomi.

Non fu prima dell'anno 1831, undici anni dopo la scoperta di Oersted dell'azione magnetica di una corrente elettrica, che Faraday, il quale era andato tentando per qualche tempo di produrre correnti elettriche per mezzo di azione magnetica, riuscì a scoprire le condizioni dell'induzione elettro-magnetica. Faraday aveva avvolto tre rotoli, o rocchetti, di filo di rame, ciascuno lungo circa ventiquattro piedi (circa m. 8) e le aveva isolati l'uno dall'altro per mezzo di spago e tela di cotone sopra un

(1) Un'elica è la curva formata dal pane di una vite di diametro uniforme sino al fondo, ed è spesse volte detta una spirale; ma quest'ultimo termine è più propriamente applicato ad una curva su un piano, come è quella formata dalla molla motrice di un orologio.

Digitized by Google

anello di ferro dolce del diametro esterno di sei pollici (circa cm. 15). Le estremità libere di uno dei rocchetti era congiunto con un filo di rame passante sopra un ago da bussola ad una distanza di circa tre piedi (90 cm.) dall'anello, collo scopo che quello servisse da rivelatore di corrente. Le estremità di un'altro rocchetto erano poi congiunte con i capi di una batteria voltaica di 10 elementi. Chiamando quest'ultimo *circuito primario*, e quell'altro *circuito secondario*, si trovò che ogni qualvolta il primario circuito veniva chiuso o interrotto, aveva luogo un leggero e momentaneo deviamento dell'ago, indicando così la presenza di una corrente passeggera nel circuito secondario. Fu allora che Faraday fece la scoperta fondamentalmente importante dell'induzione mutua di correnti elettriche — una scoperta che gettò le basi di tutte le moderne applicazioni di elettricità richiedenti la fornitura di energia elettrica in quantità. Faraday allora procedette ad inventare e costrurre apparati ulteriori, in alcuno dei quali il circuito primario e quello secondario possono essere mossi l'uno relativamente all'altro. I risultati ottenuti possono essere riassunti nei seguenti ragguagli:

Se parte del circuito secondario è vicino e parallelo a quello primario, e le altre parti, compreso l'indicatore di corrente, sono ad una distanza più grande, per modo che l'indicatore non sia direttamente influenzato dal circuito primario, allora, quando il circuito primario è completato, una corrente transitoria si produce nel circuito secondario in direzione opposta a quella del circuito primario. Quando la corrente viene interrotta nel circuito primario si produce in quello secondario una corrente nella stessa direzione di quella del circuito primario.

Gli effetti di induzione sono aumentati coll'avvicinare strettamente tra di loro le porzioni parallele dei circuiti, anche coll'avvolgerle in giri a spirale o elicoidali collocati chiusi insieme, ed ancora di più col collocare all'interno di essi dei cilindri di ferro dolce.

Quando la corrente primaria è mantenuta costante ed il conduttore pel quale essa passa è in riposo, la corrente secondaria rapidamente si estingue; ma se i due circuiti sono ravvicinati insieme più prossimamente mentre la corrente primaria è mantenuta costante, allora, durante l'approssimazione, vi sarà una corrente secondaria nella direzione opposta a quella primaria. Se i due circuiti sono allontanati di nuovo maggiormente l'uno dall'altro, la corrente primaria ancora essendo mantenuta costante, vi sarà una corrente secondaria nella stessa direzione di quella primaria. Lenz ha dimostrato, nel 1834, che

Digitized by Google

la direzione della corrente secondaria prodotta da movimenti relativi dai circuiti è sempre tale da dare origine a forza meccanica tra i circuiti, tendente ad opporsi al moto loro relativo.

Simili risultati furono ottenuti col fare avvenire un moto relativo tra il circuito secondario ed un polo magnetico. Tali risultati sarebbero necessariamente la conseguenza dell'equivalenza dei magneti coi circuiti elettrici stabilita da Ampère.

I fenomeni di induzione elettro-magnetica possono essere semplicissimamente rappresentati per mezzo della concezione di linee di forza mentre questa è espressa in una forma quantitativa. Noi abbiamo veduto che in un campo elettrico le linee di forza intersecano sempre la superficie equipotenziale, o di livello, ad angoli retti. In un campo magnetico noi possiamo anche parlare di superfici che tagliano le linee di forza ad angoli retti come superfici di livello, poichè la forza magnetica non può avere qualsiasi componente lungo una tale superficie. Supponiamo che si abbia una piccola curva descritta su tale superficie, e che la forza magnetica attraverso la piccola area racchiusa dalla curva sia presa come l'unità di forza magnetica, allora tutte le linee di forza passanti attraverso il limite di questa piccola area formeranno un tubo, che è detto unità di tubo di forza. Ogni porzione del campo di forza magnetica sarà quindi pienamente definito da questi tubi unità, perchè la direzione della linea di forza a qualsiasi punto dà la direzione della forza, mentre il numero dei tubi-unità che passano attraverso l'area-unità sulla superficie di livello attraverso il punto, può essere preso come una misura dell'intensità della forza.

In ciaschedun caso di una corrente suscitata da induzione elettro-magnetica si troverà che linee di forza magnetica sono tagliate dal conduttore in cui si produce la corrente, e che, tosto che cessi quella, cesserà la corrente. Si vede facilmente che questo taglio avviene quando un circuito è mosso relativamente ad un altro; ma esso ha pure luogo quando una corrente indotta destasi per l'inizio o la interruzione di una corrente, oppure, parlando più generalmente, per ogni variazione della corrente in un vicino conduttore. Se un tale campo magnetico è suscitato attorno al circuito, in cui la corrente è indotta, od un campo esistente attorno ad esso, vien fatto cessare, per quanto ogni variazione nel campo sia causa che linee di forza magnetica taglino attraverso il circuito secondario, una forza elettro-motrice, e quindi una corrente, sarà prodotta in quest'ultimo.

Digitized by Google

Il campo di forza magnetica che circonda una corrente elettrica può facilmente esser posto in evidenza mediante limatura di ferro. Ponete un filo diritto ad angolo retto attraverso un cartoncino sostenuto orizzontalmente, e fate passare una corrente attraverso il filo: spargendo leggermente sul cartoncino la limatura di ferro si vedrà che essa si dispone in una serie di circoli, che hanno l'apertura nel centro comune.

Le superfici di livello, essendo perpendicolari alle linee di forza, consisteranno evidentemente di una serie di piani intersecantisi l'un l'altro nell'asse del filo di ferro diritto. Dacchè le linee di forza sono circoli, ne segue che se un polo di un magnete potesse essere separato dall'altro esso potrebbe esser fatto girare continuamente attorno ad un filo che sia percorso da una corrente elettrica.

Sebbene sia impossibile di far questo, la verità di questa proposizione può essere illustrata sperimentalmente in modo semplicissimo. Se un lungo filo d'acciaio, magnetizzato, e sottile abbastanza per essere facilmente flessibile, vien collocato parallelamente e contro un filo percorso da corrente, si vedranno i due poli girare in direzioni opposte attorno al filo, in cui la corrente passa, attorcigliando il magnete attorno al filo. Una corrente elettrica è quindi circondata da ciò che può essere chiamato « *vortici elettrici* » (1). Quando le azioni elettriche sono spiegate sui principii di Faraday per mezzo di azioni che si inoltrano nel mezzo circostante, si troverà che i conduttori percorsi da correnti elettriche, e quindi anche i magneti danno origine ad azioni di simile genere in questo mezzo come potrebbero essere immaginate quasi suscitate dalla rotazione di porzioni del mezzo.

Queste rotazioni daranno origine a vortici elettrici attorno ad ogni conduttore muovendo attraverso le linee di forza, ed involgeranno ciò che è conosciuto come una corrente di elettricità entro il conduttore.

Faraday ha trovato che la forza elettrica, la quale sorge in un conduttore a ciascun punto in cui vi è moto, attraverso le linee di forza magnetica, è sempre ad angoli retti colla direzione di moto e colle linee di forza magnetica.

La direzione della forza elettrica lungo la linea retta così determinata, egli trovò essere data dalla regola che se un uomo è supposto nuotare

(1) Questi sono stati usualmente conosciuti come « vortici magnetici » ma, secondo la rappresentazione del campo elettrico ora generalmente accettata, egli è preferibile di chiamarli « vortici elettrici ».

Digitized by Google

nel conduttore per modo che egli guardi lungo la linea di forza magnetica nella direzione positiva, mentre il conduttore si muove verso la sua mano destra, egli sarà nuotando nella direzione della forza elettrica, e quindi della corrente, indotta dal moto. Faraday ha trovato che il totale della risultante forza elettro-motrice nel conduttore è proporzionale al numero dei tubi-unità di forza magnetica che il conduttore taglia attraversandoli per ogni secondo, ed è quindi proporzionale alla intensità del campo ed alla lunghezza e velocità del conduttore. Se un circuito chiuso è mosso attraverso le linee di forza, il passaggio di un tubo-unità dall'interno all'esterno dell'area racchiusa dal circuito darà origine ad una forza elettro-motrice uguale ed opposta a quella dovuta al passaggio di un tubo-unità dall'esterno all'interno.

I fenomeni di induzione elettro-magnetica possono quindi essere riassunti nella seguente proposizione:

Quando ha luogo un'alterazione nel numero dei tubi-unità della forza magnetica che passa nella stessa direzione attraverso l'area racchiusa dal circuito secondario, la forza elettro-motrice attorno al circuito sarà misurata dalla ragione dell'aumento o diminuzione nel numero di tali tubi.

Il ragionamento mediante il quale si è giunti a tale proposizione sarebbe invalidato se la porzione del campo elettro-magnetico di cui si tratta, fosse diviso in distinte regioni da confini impenetrabili all'azione elettro-magnetica.

Quando una corrente viene iniziata o fermata in qualsiasi circuito, egli è evidente che il campo magnetico risultante e variante darà origine ad una forza elettro-motrice nello stesso circuito, l'effetto della quale sarà di opporsi al sorgere, od al cessare, secondo il caso, della corrente. Questo fenomeno è conosciuto come auto-induzione. È facile vedere che l'auto-induzione di un filo diritto di dimensioni date sarebbe molto accresciuta se ei fosse avvolto a spire, il di cui effetto sarebbe di portare le differenti parti del circuito molto più accosto le une alle altre, il che, coll'aumentare l'induzione mutua, cagionerebbe un aumento nella auto-induzione della totalità.

I metodi di produrre correnti elettriche sin qui considerati danno origine soltanto a correnti transitorie, e, sebbene io mi sia riferito agli esperimenti di Ampère con correnti costanti, io non sono entrato nella quistione della produzione loro.

Noi abbiamo veduto che, quando una forza elettro-motrice dà origine ad una corrente in un conduttore, l'elettricità viene trasferita da

Digitized by Google

un posto di più alto potenziale ad uno di più basso potenziale. Se questo fosse stato effettuato col portare un piccolo corpo carico, come una palla di metallo, da un posto ad un altro, avrebbe avuto luogo un lavoro sulla palla cagionato dalle forze elettriche. Questo lavoro è utilizzato nel ben conosciuto esperimento in cui una piccola palla è sospesa per mezzo di un filo isolatore tra un campanello non isolato ed uno che è tenuto carico col sospenderlo, per mezzo di un filo metallico, al conduttore primario di una macchina elettrica a frizione. La palla è attratta verso il campanello carico, riceve una carica simile, è respinta per modo da urtare l'altro campanello, e così perde la sua carica, e quindi essa continua ad oscillare tra i due campanelli facendoli risuonare di continuo.

Quando l'elettricità è trasferta da un posto ad un altro mediante flusso attraverso un conduttore non avviene lavoro esterno fatto dalla forza elettrica, e quindi il principio della conservazione dell'energia ci induce a cercare l'evidenza del lavoro interno che si produce nel conduttore. Noi riscontriamo questo nel fatto che il conduttore diventa riscaldato.

In un semplice conduttore metallico tutto il lavoro interno appare sotto forma di calore, ed in tutti i casi almeno qualche parte di esso. Noi non possiamo, pertanto, aspettarci di mantenere una corrente elettrica costante senza un continuo supplemento di energia.

Come risultato di lavoro fatto da una corrente elettrica che attraversa un conduttore, esso prova una resistenza al suo passaggio. Ohm ha dimostrato, nell'anno 1827, che questa resistenza ha un valore definito per ciascun conduttore, che varia colla natura del conduttore. Il risultato delle di lui indagini può essere formolato nella seguente proposizione, che è conosciuta come *legge di Ohm*: — la forza elettrica motrice che agisce tra le estremità di ogni parte di un circuito è il prodotto della forza della corrente e della resistenza di quella parte del circuito. La legge di Ohm si applica a tutti i conduttori solidi e liquidi, ma noi vedremo che essa non si applica alla trasmissione attraverso i gaz. Se la porzione del circuito considerata non è omogenea, ma contiene cambiamenti da una sostanza ad un'altra, o da uno stato di una stessa sostanza ad un altro, delle forze elettro-motrici interne possono sorgere che avranno da essere prese in considerazione.

Il totale di energia convertita in calore è misurato dal prodotto della forza elettro-motrice per la quantità di elettricità che passa.

Digitized by Google

Se W è il totale dell'energia calore generata nel tempo t da una corrente C in un conduttore di resistenza R, dovuta ad una forza elettromotrice E, allora

$$W = ECt = C^2Rt \text{ (dacchè } E = CR \text{ per la legge di Ohm).}$$

Faraday, nel corso delle sue ricerche sull'induzione elettro-magnetica, fece rotare un disco di rame tra i due poli di un magnete a ferro di cavallo, e trovò che una corrente era prodotta in un filo che congiunge il centro del disco con il suo bordo, e che continuava per tutto il tempo che era mantenuto il disco, in rotazione. Questa continua produzione di una corrente elettrica per mezzo della rotazione di un conduttore tagliante le linee di forza di un magnete è il principio essenziale della moderna dinamo, che fornisce i mezzi più economici per produrre energia elettrica.

Altri esempi della produzione di correnti costanti per mezzo di energia meccanica, sono dati da macchine elettriche a frizione e per influenza. Le prime danno i convenienti mezzi di produrre senza interruzione elettricità mediante frizione, e le ultime coll'induzione elettrica. Entrambe queste specie ci pongono in grado di produrre forza elettromotrice estremamente alta, specialmente le ultime; ma la resistenza offerta dai circuiti è estremamente alta, cosicchè la corrente risultante è così minuta da richiedere un delicato galvanometro per indicare la sua presenza.

Correnti continue possono anche essere ottenute per mezzo di batterie primarie e secondarie; le ultime essendo comunemente conosciute come accumulatori, sebbene il termine non sia suscettibile di approvazione scientifica. In entrambe le sorta la corrente è mantenuta dalla energia di azione chimica. La differenza essenziale tra di esse è semplicemente che la batteria secondaria è riversibile, per modo che quando essa è esaurita essa può essere ripristinata alla sua condizione chimica originale da una sorgente esterna per mezzo di una corrente elettrica che l'attraversa nella direzione inversa di quella che essa produce di poi; mentre una batteria primaria non è riversibile, cosicchè quando essa è esaurita devono esserle forniti nuovi materiali.

Prima dell'invenzione della dinamo, le batterie primarie formavano la sola sorgente pratica di corrente elettrica. Gli elementi primarii sono comunemente conosciuti come elementi voltaici o galvanici, poichè essi

Digitized by Google

trassero origine dalle scoperte di Volta e Galvani, principalmente del primo, verso la fine del XVIII secolo. Parecchi elementi riuniti formano una batteria voltaica o galvanica. Altrettanto quanto dura la corrente attraverso ad un circuito contenente sia primarii elementi sia secondarii, l'azione chimica continuerà in ogni elemento. Quando il circuito è interrotto, cosicchè il flusso della corrente è arrestato, l'azione chimica che aveva fin allora mantenuta la corrente è fermata; sebbene in qualche genere di elementi possa continuare una locale azione chimica, e che cagiona la graduale distruzione dell'elemento. Simile azione chimica locale è sempre accompagnata da correnti elettriche complete entro l'elemento stesso.

Tutti i metalli, sia in stato liquido che in stato solido, permettono all'elettricità di passare attraverso ad essi senza una qualche risultante alterazione chimica. Simile processo è conosciuto come trasmissione metallica. Il passaggio di elettricità attraverso tutti gli altri liquidi conduttori è accompagnato da cambiamenti chimici nella composizione dei liquidi. Il processo vien detto trasmissione elettrolitica e le sostanze che conducono l'elettricità in questo modo quando sono in stato liquido sono conosciute come elettroliti. La trasmissione elettrolitica avviene nei sali metallici ed in altri composti chimici quando sono liquefatti o per fusione o per soluzione in qualche solvente, usualmente acqua.

Il cambiamento chimico che accompagna il passaggio di una corrente di elettricità attraverso un liquido elettrolitico è conosciuto col nome di elettrolisi, e si è trovato che esso consiste primariamente nella decomposizione della sostanza in due distinti gruppi molecolari che sono conosciuti come joni.

Si trova che uno di questi gruppi porta una carica elettrica positiva, ed è conosciuto col nome di « catione ». L'altro gruppo porta una carica elettrica negativa e chiamasi « anione ». Durante il passaggio della corrente elettrica attraverso il liquido, l'*anione* ed il *catione* viaggiano in direzioni opposte finchè non giungono agli *elettrodi*, ossia ai conduttori per mezzo dei quali rispettivamente la corrente entra nel liquido o lo lascia; il primo elettrodo è noto col nome di *anodo* ed il secondo di *catodo*.

In alcuni pochi semplici casi i prodotti dell'elettrolisi, come sono liberati agli elettrodi, sono identici coi gruppi molecolari che formano i joni, ma essi sono generalmente il risultato dell'azione chimica dei

Digitized by Google

joni liberati nella soluzione. Il recipiente impiegato per contenere l'elettrolito pel lavoro sperimentale è noto come un *voltametro* o *elemento voltametrico*. Quando si desidera mantenere l'elettrolito ad una forza costante, si impiega un anodo di quel metallo di cui l'elettrolito è un sale. Altrimenti entrambi gli elettroliti dovrebbero essere di materiale che non subisce azione dall'elettrolito, cioè carbone o platino, che sono i più usuali.

Nell'anno 1803 Faraday riepilogò i risultati delle sue estese ricerche in fatto di elettrolisi nelle due seguenti leggi generali:

1° La totalità della trasformazione chimica che ha luogo in ogni circuito elettrolitico è direttamente proporzionale alla quantità di elettricità che passa attraverso il circuito;

2° per una data quantità di elettricità che passa attraverso ad ogni circuito, i totali dei diversi elettroliti scomposti in quel circuito, e quindi i totali dei joni posti in libertà, sono proporzionali agli equivalenti (1) chimici dei diversi elettroliti o joni.

Clerk-Maxwell, nella prima edizione del suo classico trattato sulla elettricità e magnetismo, fece notare che le leggi di Faraday sull'elettrolisi sembravano indicare una natura molecolare per l'elettricità, e suggerì di servirsi provvisoriamente di tale supposizione come di una conveniente ipotesi ausiliaria per proceder oltre. Egli tuttavia non osservò che una simile ipotesi è tale da essere con tutta probabilità conservata permanentemente, mentre ulteriori progressi dovrebbero gettar qualche luce sulla reale natura dell'elettricità.

H. von Helmoltz, nel corso della conferenza su Faraday tenuta al Reale Istituto nel 1881, argui che queste leggi necessariamente conducevano alla conclusione, che se gli elementi chimici sono composti di atomi, anche l'elettricità, sia positiva che negativa, deve pure essere divisa in porzioni elementari definite, che si comportano come atomi di elettricità; poichè la stessa quantità definita di elettricità, vuoi negativa, vuoi positiva, è stata riconosciuta muoversi sempre con ciaschedun jone monovalente, o con ciascheduna unità di affinità di

(1) L'equivalente chimico di ogni sostanza è un numero che rappresenta la più piccola massa della sostanza che può combinarsi colla massa unità di idrogeno, oppure può sostituirla in ogni combinazione chimica.

Digitized by Google

un jone pluri-valente, accompagnandolo durante tutti i suoi movimenti attraverso l'interno dell'elettrolito. Egli suggerì di chiamare questa quantità « carica dell'atomo ». Il dottor Johnstone Stoney suggerì che quello dovesse essere chiamato un elettrone, od unità elettrica naturale. Von Helmoltz fece notare, nel corso della stessa conferenza che la decomposizione avrebbe luogo alla superficie degli elettrodi, purchè la forza elettro-motrice fosse sufficiente, ed in quel caso, i joni cederebbero le cariche loro e diverrebbero elettricamente neutrali.

Il fenomeno dei raggi catodici osservato in tubi vuoti indusse Varley a supporre, nel 1871, che realmente i joni consistessero di particelle elettrizzate projettate contro il catodo. Le indagini di sir William Crookes confermarono questa supposizione, ed egli con meravigliosa intuizione, designò le condizioni della loro esistenza come un *quarto stato della materia.*

Queste ricerche di Crookes condussero sir J. J. Thomson ad investigare le proprietà di una sfera in moto trasportante una carica elettrica, ed in una memoria della massima importanza ed interesse fondamentale, che apparve nel *Philosophical Magazine* nel 1881, egli mostrò che simile sfera avrebbe un'inerzia definita, dovuta alla sua carica elettrica. Questa indagine può essere riguardata siccome quella che ha gettato le basi della teoria elettrica della materia, poichè essa aperse la via per una spiegazione elettrica dell'inerzia, o massa, che è una delle sue proprietà le più fondamentali.

La probabilità che gli elettroni possano avere una separata ed indipendente esistenza, e possibilmente fornire una base per una generale teoria dei fenomeni fisici, apparirebbe di essersi presentata a molti fisici pressochè contemporaneamente; i più eminenti tra di essi sono Lorentz, Larmor, Voigt e Drude.

Lorentz fu il primo a pubblicare una definita teoria dell'elettrone, ciò che egli fece nel 1892; teoria basata principalmente sulle proprietà ottiche dei mezzi in moto relativamente l'uno all'altro, prendendo come punto di partenza il fenomeno astronomico dell'aberrazione della luce (ved. cap. VI). Il punto di partenza di Larmor fu un tentativo di applicare l'etere elastico per rotazione di Mac Cullagh (ved. cap. IV) alla rappresentazione di una teoria generale elettro-magnetica, l'attenzione di lui (Larmor) essendo stata attirata dalla teoria di Mac Cullagh per una memoria pubblicata nel 1880 dal prof. G. F. Fitzgerald, *Sulla teoria elettro-magnetica della riflessione e rifrazione della luce.* La prima

Digitized by Google

esposizione della teoria di Larmor fu comunicata alla Società Reale nel 1893, e pubblicata nelle *Philosophical Transactions* del 1894, con un supplemento aggiunto nell'agosto 1894, in cui l'elettrone era definitivamente introdotto per spiegare la relazione delle forze osservate tra magneti permanenti e le corrispondenti forze tra circuiti percorsi da correnti elettriche, poichè questa relazione non potrebbe essere spiegata nell'ordinaria teoria dell'atomo vortice.

Digitized by Google

CAPITOLO II.

Unità e misurazione.

Nel precedente capitolo io ho parlato di quantità di elettricità e di forze elettriche, e questi termini non presenteranno difficoltà ai lettori, essendo tali idee fra quelle familiari a tutti.

Però negli studi scientifici non è già sufficiente di avere una comprensione generale del significato dei termini adoperati; è piuttosto necessario, allo scopo di formarsi concetti ben definiti, che possano essere paragonati e discussi, di avere le varie quantità di cui noi ci interessiamo, espresse in termini di qualche definito sistema di unità. Ciascuna espressione di una quantità consiste di due fattori. Uno di questi è il nome di una nota quantità fissa della stessa specie della quantità che si deve esprimere, che è presa come campione a cui tutte le altre quantità di quella specie vengono riferite, ed è chiamata l'unità. L'altro fattore è il numero che esprime il rapporto della quantità, di cui si tratta, con questa unità. Tutte le quantità che sono capaci di espressione in termini meccanici sono capaci di finale definizione nei termini di tre fondamentali unità; e le tre che sono il più convenientemente prese come fondamentali sono le unità di lunghezza, massa, e tempo. Per scopi scientifici, e, altrettanto quanto li possano interessare le quantità elettriche, per scopi commerciali altresì, le unità fondamentali scelte per la misurazione di lunghezza, massa e tempo, rispettivamente, sono il centimetro, il gramma ed il secondo.

Teoreticamente il centimetro è la millesima parte del milionesimo della lunghezza di un meridiano della terra misurato dal polo all'equatore, ma praticamente esso è una centesima parte del metro campione conservato a Parigi, misurato mentre tale campione è alla temperatura del ghiaccio al punto di fusione.

Digitized by Google

Il gramma è teoricamente la massa di un centimetro cubo di acqua distillata alla temperatura di 4° C. ed alla pressione barometrica di centimetri 76 di mercurio, ma praticamente è la millesima parte del chilogramma campione conservato in Parigi. Il secondo è lo stesso secondo solare, che è stato determinato con grande accuratezza per mezzo di osservazioni astronomiche.

Il sistema di unità fisiche derivate basato su queste tre unità fondamentali è conosciuto come sistema C. G. S., queste lettere essendo le iniziali dei nomi delle tre unità fondamentali. Le unità principali derivate di dinamica ordinaria sono quelle di velocità, accelerazione, densità, momento, forza e lavoro.

La velocità di un corpo che si muove uniformemente è misurata dal rapporto tra la distanza percorsa in qualche tempo fisso alla distanza nel tempo preso per descriverla; ossia più generalmente la velocità di un corpo in un momento dato è misurata dalla ragione con cui la lunghezza del suo percorso va crescendo relativamente al tempo. L'unità di velocità è la velocità di un corpo animato da moto uniforme che spostasi di una distanza di un centimetro al secondo.

L'accelerazione di un corpo ad un momento è misurata dalla ragione alla quale la sua velocità va aumentando relativamente al tempo; e l'unità di accelerazione è quella in cui la velocità aumenta di un centimetro di secondo in secondo.

La densità di una sostanza è misurata dalla massa contenuta nel volume unità della sostanza — vale a dire, la massa di un centimetro cubico. L'unità di densità è quindi la densità di una sostanza contenente un gramma in ciaschedun centimetro cubico.

Il momento di un corpo è misurato dal prodotto della sua massa per la sua velocità, e l'unità di momento è pertanto il momento di una massa di un gramma muoventesi con una velocità di un centimetro per secondo.

La forza che agisce sopra un corpo è misurata dal momento prodotto per secondo, cosicchè l'unità di forza è la forza che produce l'unità di momento per secondo. Questa unità di forza è chiamata *dina*.

Il lavoro compiuto da una forza è misurato dal prodotto della forza per lo spostamento, nella direzione della forza, del punto di un corpo, a cui la forza è applicata. L'unità di lavoro è quindi il lavoro fatto da una forza di una *dina* che agisce per un centimetro nella sua propria direzione. Quest'unità di lavoro è chiamata un *erg*.

Digitized by Google

La capacità di un sistema per compiere un lavoro è chiamata energia del sistema, ed è misurata dalla somma di lavoro che il sistema sarebbe capace di compiere col dispendio della totale sua energia.

La fondazione per la scienza di misurazione elettrica fu realmente dedotta dalle investigazioni di Cavendish, verso la metà all'incirca del diciottesimo secolo, nelle quali egli ha dimostrato mediante un ragionamento matematico rigoroso, che il fatto sperimentale che una sfera concava, elettricamente carica, non cede porzione alcuna della sua carica ad un conduttore in comunicazione con essa, e chiuso in essa, necessariamente adduce alla conclusione che l'attrazione tra due piccoli corpi carichi elettricamente è inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra di essi. Questo fatto fu scoperto indipendentemente, sebbene non dimostrato colla stessa esattezza, da Coulomb, che ha comunicato i suoi risultati all'Accademia Francese nel 1775.

Cavendish aveva comunicato qualcuno di questi risultati alla Società Reale nel 1771, ma egli non pubblicò giammai la prova definitiva di questa legge; ed il fatto della priorità di questa scoperta non fu noto generalmente fino all'anno 1879, quando le memorie inedite di Cavendish furono pubblicate da Clerk-Maxwell.

Coulomb ha trovato, nelle sue esperienze colla bilancia a torsione, che la legge reggeva bene per l'attrazione e la ripulsione tra poli magnetici altrettanto quanto per azioni elettriche. Quando Ohm scoperse, come fu menzionato nel capitolo precedente, la costanza di quanto noi ora appelliamo la resistenza di conduttore, egli non fece il passo più inoltrato di esprimere la resistenza di un circuito nei termini di una unità-campione, ma si limitò ad esprimere la resistenza di diverse parti di un circuito nei termini della resistenza di una parte scelta di essa. Pouillet nel 1837, compì questo passo importantissimo di esprimere le sue misurazioni di resistenza nei termini della resistenza del mercurio distillato. La resistenza campione impiegata da lui era una colonna di mercurio di una lunghezza misurata contenuta in un tubo a forma di U terminante in larghe tazze per permettere di farvi le necessarie misure. Può essere notato qui che la reciproca della resistenza di un conduttore è denominata la sua conduttibilità, e che la resistenza, e la conducibilità di una unità-cubo di una sostanza, misurata tra faccie opposte, sono rispettivamente denominate resistenza specifica e conducibilità specifica.

Nello stesso tempo Gauss aveva pubblicato, nell'anno 1831, la sua importante opera sul magnetismo terrestre, nella quale egli dimostrava

Digitized by Google

che la forza di un polo magnetico poteva essere espressa in termini di unità basate sul millimetro, sul milligramma, sul secondo.

Weber, il quale era stato compagno di Gauss nelle sue misurazioni magnetiche, iniziò nel 1851 lo sviluppo di un sistema definito di misurazioni elettriche espresse nei termini delle medesime unità fondamentali.

L'importanza del sistema di Weber fu immediatamente riconosciuta da Lord Kelvin, e dietro a suo suggerimento è stato formato un Comitato dell'Associazione Britannica nel 1861 per lo studio dei campioni di resistenza elettrica.

Il piano del lavoro fu susseguentemente esteso per modo da inchiudervi l'intero argomento delle misurazioni elettriche. La cooperazione dei principali elettricisti inglesi e stranieri fu ricercata ed ottenuta da questo Comitato, il quale comprendeva, sia uomini dediti alla scienza pura, sia ingegneri pratici, e la conclusione finale alla quale essi arrivarono fu di adottare una serie di unità pratiche ottenute col prendere dei multipli convenienti delle unità teoretiche, basate sopra il centimetro, il gramma, ed il secondo come quelli fondamentali. La risultanza definitiva di questo Comitato è stata una convenzione internazionale che si ottenne per mezzo di conferenze tra gli elettricisti di tutte le contrade civilizzate, autorizzati, dai loro governi rispettivi, circa al sistema di unità che avrebbero da essere impiegate nella misurazione di quantità elettriche. La più recente conferenza internazionale su questo soggetto ebbe luogo a Londra nell'ottobre 1908.

Quest'uniformità è stata resa possibile dal fatto che le unità per tal modo raggiunte sono quelle che sono dette *unità assolute* — vale a dire, esse sono indipendenti dal posto, altrettanto quanto dal tempo in cui le misurazioni sono fatte.

Come un esempio di una unità che non soddisfa tali condizioni, io posso prendere il peso di una libbra, che è stato, ed è tuttora, largamente adoperato dagli ingegneri come una misura di forza (1).

Dove soltanto moderata accuratezza è richiesta, una simile unità può benissimo servire, ma per un lavoro realmente accuratissimo si dovrebbe specificare il posto della misurazione, poichè il peso di una libbra è più grande ai poli che in ogni altra parte della superficie della terra

(1) Com'è ben noto, nella Gran Bretagna non è stato adottato finora il sistema metrico decimale. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

e diminuisce gradualmente a misura che ci si approssima all'equatore, Ciò dipende anche da qualche circostanza locale che influisce sul valore della gravità, come la vicinanza di montagne.

Un sistema di misurazione elettrica potrebbe essere basato sulla definizione di unità carica elettrica data nella legge di Cavendish-Coulomb e riferita nel capitolo I. Secondo questa legge, la forza che agisce tra due cariche in un dato mezzo dielettrico è proporzionale al prodotto delle cariche diviso pel quadrato della distanza fra di esse. Quindi, a meno che un fattore inutile sia introdotto, la forza può essere definita come uguale a questa espressione per qualche mezzo dielettrico definito. Il mezzo per tal modo scelto è l'aria, in cui l'attrazione è sensibile lo stesso come nel *vuoto*.

Da questo ne conseguirà che l'unità-carico sarà quella carica che respinge una carica simile nell'aria, alla distanza di un centimetro; colla forza di una *dina*. Un sistema di misurazione elettrica su questa base è stato attualmente formulato, ed è conosciuto come il sistema elettrostatico. Io ho dato la definizione dell'unità elettrostatica di quantità elettrica perchè, come è dimostrato più innanzi in questo capitolo, il numero di unità elettrostatiche di quantità elettrica contenute in una unità elettro-magnetica rappresenta una velocità, e questa velocità si trova essere la stessa che la velocità della luce nell'etere.

La scoperta di questo fatto formò la pietra fondamentale su cui Clerk-Maxwell pose le basi della sua teoria del carattere elettro-magnetico delle perturbazioni che costituiscono le onde luminose. Eccetto che in relazione a questa quistione non sarà necessario per noi di dedicare ulteriori studi al sistema elettro-statico, dacchè il sistema elettro-magnetico fondato sulla definizione di un polo unità magnetica, è quello universalmente impiegato.

Esperimenti di Coulomb hanno mostrato che la forza che agisce tra due poli magnetici è della stessa forma come quella tra due cariche elettriche. Il polo unità magnetica può quindi essere definito come quel polo che respinge un polo simile, alla distanza di un centimetro, colla forza di una *dina*.

Ora, la forza esercitata su di una unità polo magnetico da una corrente la cui distanza da esso è costante, vale a dire, da una corrente fluente in un conduttore sotto forma di arco circolare descritto col polo per centro, si trovò da Ampère essere proporzionale alla lunghezza

Digitized by Google

dell'arco divisa per il quadrato del raggio del circolo. La corrente attraverso all'arco può quindi essere determinata in termini di una unità polo magnetico, col definire la forza di un polo magnetico, come uguale al prodotto della lunghezza dell'arco per la corrente che percorre l'arco ed il polo magnetico, diviso (tale prodotto) dal quadrato del raggio. La corrente unità sarà allora quella corrente di cui ciascun centimetro esercita la forza di una dina in un'unità polo magnetico alla distanza di un centimetro.

Quando si misurano le azioni tra cariche elettriche, e tra poli magnetici e correnti elettriche, tutte le azioni perturbatrici devono naturalmente essere eliminate sino al limite del possibile e le definizioni si applicano rigorosamente soltanto quando una tale eliminazione riesce completa. Non risulta che la presenza dell'aria eserciti effetti sensibili sulle misurazioni paragonate con quelle fatte *nel vuoto* — vale a dire, nell'etere libero — e la presenza di aria non deve quindi essere considerata come un agente perturbatore. D'altra parte, l'intervento di un foglio di vetro o di mica tra le cariche elettriche quando si misura la loro ripulsione, o la vicinanza di ferro quando si misurano le azioni tra poli magnetici e correnti, mediante esperimenti risulta esercitare effetti considerevolmente perturbatori, e devono quindi essere evitati.

L'unità carica elettrica, od unità di quantità elettrica, è definita nel sistema elettro-magnetico come una quantità trasmessa dall'unità corrente in un secondo.

Noi vedemmo nel capitolo I che il potenziale di ogni punto in un campo elettrico è misurato dal lavoro fatto sopra un corpo che porta una quantità unità di elettricità nel muovere quello da quel punto ad un punto fuori del campo elettrico, ossia, come noi possiamo esprimer ciò, ad una distanza infinita da tutti i corpi elettrizzati. La differenza potenziale o forza elettro-motrice, tra due punti in un campo elettrico, sarà quindi misurata dal lavoro fatto nel trasferire un'unità quantità di elettricità da un punto ad un altro. Nel capitolo I è stata indicata una restrizione, cioè che il corpo che porta l'unità di carica, e l'unità scelta, deve essere abbastanza piccola da non disturbare il campo elettrico esistente. Era necessario di fare questa restrizione, che le condizioni debbono essere tali da non alterare il campo, dacchè altrimenti il potenziale ad un punto nel campo non avrebbe valore definito.

Il lettore, tuttavia, vedrà che esso non influisce in nessun modo sulla dimensione dell'unità scelta per il nostro sistema di misurazione.

Digitized by Google

Se noi desideriamo applicare la nostra definizione al campo che sarebbe cambiato dal moto attuale di simile carica noi possiamo prendere come la carica motrice un milionesimo dell'unità od una frazione altrettanto piccola quanto a noi piaccia. Allora la definizione prenderà la forma: La differenza di potenziale, o forza elettro-motrice — tra due punti può essere misurata da un milione di volte il lavoro fatto nel trasferire un milionesimo di un'unità quantità d'elettricità da un punto all'altro — il che equivale alla nostra anteriore definizione.

L'unità forza elettro-motrice può quindi essere definita come una forza elettro-motrice tale che, se essa è stabilita tra due punti, un totale di lavoro eguale ad un *erg* sarà necessario per trasferire l'unità quantità di elettricità dall'uno all'altro.

Le lettere P. D. sono soventi usate, per amor di brevità, per rappresentare il termine differenza di potenziale; ed il termine forza elettromotrice è similmente rappresentato dalle lettere E. M. F. Noi vedemmo nel capitolo I che in un campo puramente elettro-statico l'E. M. F. è identica con P. D.

Nel campo generale elettro-magnetico parte dell'E. M. F. a qualsiasi punto dato ad un dato istante sarà dovuta all'induzione magnetica avente origine dal moto di conduttori che portano correnti elettriche (inclusivi i magneti) e dalla variazione delle correnti col tempo. Nell'assenza di ogni teoria generale circa l'origine della E. M. F. da azioni chimiche, termo-elettriche, ed altre azioni tra quelle intermolecolari dei corpi materiali, noi dovremmo trattare queste, quando sono presenti, come effetti perturbatori da dover essere considerati separatamente e dedotti. Tuttavia nella teoria degli elettroni risulta che la E. M. F. può essere considerata come consistente di sole due parti: una dovuta all'induzione magnetica, e l'altra derivata dal potenziale della distribuzione di elettroni fissi o mobili, esistenti all'istante considerato, tutte queste speciali E. M. F. essendo incluse nell'ultima parte delle precedenti.

Noi troveremo, inoltre, che quando la nostra analisi è estesa per modo da tener in conto le azioni che occorrono entro le molecole magnetiche, la prima parte diventa inclusa nell'ultima, cosicchè l'E. M. F. ad ogni dato istante può essere derivata intieramente dal potenziale della distribuzione totale di elettroni fissi o mobili.

Avendo determinate le unità di corrente e di E. M F., l'unità di resistenza può essere definita, per mezzo della legge di Ohm, come la

Digitized by Google

resistenza di un conduttore nel quale l'unità E. M. F. produce l'unità corrente.

Le unità per tal guisa ottenute non sono affatto di conveniente grandezza per l'espressione delle quantità elettriche, che occorrono nel lavoro pratico: alcune essendo troppo grandi, ed altre troppo piccole.

Per questa ragione, la pratica unità di corrente elettrica è stata definita come un decimo del C. G. S., unità di corrente, ed è denominata un *ampère*.

L'unità della forza elettro-motrice è denominata un *volt* (da Volta), ed è considerata come equivalente ad un cento milioni di unità C. G. S.

L'unità di resistenza, che è chiamata un *ohm*, è quindi definita come la resistenza di un conduttore attraverso al quale una forza elettro-motrice di un *volt* manterrà una corrente di un *ampère*. Essa contiene mille milioni di unità C. G. S.

L'unità di potenza è nomata un *watt*, ed è definita come l'energia spesa per secondo da una corrente non variabile di un *ampère* con una differenza di potenziale ai suoi termini (ossia sotto una pressione elettrica) di un *volt*. Essa è un equivalente di dieci milioni di *erg* per secondo.

L'unità di quantità è denominata il *coulomb*, ed è definita come la quantità d'elettricità portata in un secondo da una corrente di un *ampère*. Essa è l'equivalente di un decimo di un'unità C. G. S.

L'unità di capacità è detta un *farad* (da Faraday) ed è definita come la capacità di un condensatore a cui un E. M. F. di un *volt* darà una carica di un *coulomb*. Siccome quest'unità è troppo grande per essere conveniente per il maggior numero degli scopi pratici, le capacità sono generalmente espresse in *micro-farad*, ossia milionesimi di un *farad*.

L'*ohm*, sebbene sia una unità conveniente per esprimere la resistenza dei conduttori, è inopportunamente piccolo per la resistenza degli isolatori; e la loro resistenza è usualmente espressa in *megohm*, di cui ciascuno è uguale a un milione di *ohm*.

Favorite dall'influenza del Comitato dell'Associazione Britannica, queste unità vennero nell'uso generale in Gran Bretagna e sue Colonie, durante gli anni 1870 e 1871. Tuttavia esse furono adottate da tutti solamente dopo la riunione del Congresso Internazionale di Elettricisti, che ebbe luogo in Parigi nel 1881, e nel quale fu deciso che sarebbero state impiegate dagli elettricisti in tutto quanto il mondo.

Due ultime unità sono state aggiunte di poi, cioè:

Digitized by Google

L'unità di *induttanza*, per la misurazione dell'auto e mutua induzione, o *induttanza*, è denominata un *henry*, ed è definita come segue: L'auto-induttanza di un circuito è detta essere un *henry* quando una variazione di corrente, alla ragione di un *ampère* per secondo, nel circuito dà origine ad un'opposta forza elettro-motrice di un *volt*. L'induttanza mutua di due circuiti vien detta essere un *henry* quando una variazione di corrente, alla ragione di un *ampère* per secondo, in uno dei due circuiti fa sorgere una forza elettro-motrice di un *volt* nell'altro circuito. L'*henry* è equivalente a 10^9 unità C. G. S., cioè 10^9 centimetri, le sue dimensioni essendo quelle di una lunghezza.

L'unità di energia è denominata un *joule*, ed è definita come il totale di energia spesa quando un *coulomb* discende di una differenza di potenziale di un *volt*. Il *joule* è equivalente a 10^7 *ergs*.

Nell'anno 1894 l'*ohm*, l'*ampère* ed il *volt* furono legalmente definiti nella Gran Bretagna, e furono per la prima volta riconosciuti come unità legali.

Però, in seguito essi furono addottati da altre contrade, e sono quindi divenuti unità internazionali. Fu allora deciso di addottare l'*ohm* e l'*ampère* come unità primarie; il primo di essi essendo determinato in termini di un campione di mercurio, mentre l'ultimo fu determinato dall'elettrolisi di una soluzione di nitrato d'argento. Le definizioni furono praticamente lasciate inalterate alla recente riunione della Conferenza Internazionale, e le definizioni sono date per *extenso* negli estratti dalla relazione loro, che sono aggiunti in appendici a questo capitolo.

Le specificazioni altrettanto come le definizioni, saranno utili agli studenti di fisica per informazioni; e coloro che portano a questo soggetto un interesse di un carattere particolareggiato, maggiore di quello generale, saranno messi in grado, se essi così desiderano, di acquistare da queste specificazioni qualche idea delle precauzioni minute addottate per assicurare somma precisione nelle moderne misurazioni scientifiche.

Noi abbiamo veduto che il sistema elettro-statico di unità è fondato sulla definizione di un'unità di carica di elettricità come la carica che respinge una carica uguale alla distanza unità nell'aria coll'unità di forza. Il sistema elettro-magnetico, d'altra parte, è fondato sulla definizione di una unità polo magnetico come il polo che respinge un polo uguale alla distanza unità nell'aria colla forza unità.

Digitized by Google

Noi potremmo giungere ad un terzo sistema di unità basato sulla legge di attrazione e ripulsione in ragione inversa del quadrato della distanza col definire la massa unità come la massa che attrae una eguale massa all'unità distanza coll'unità forza. Questo è denominato il sistema di gravitazione di unità.

Ora, questi tre sistemi di unità non sono conformi l'uno coll'altro, cosicchè, per esempio, una quantità espressa in unità elettro-statiche non può essere numericamente paragonata a simile quantità espressa in unità elettro-magnetiche, eccetto che coll'accertare la relazione tra l'unità elettro-statica e quella elettro-magnetica per la quantità in quistione. La ragione di questa non-conformità è semplicissima. Tutto ciò che noi conosciamo sperimentalmente in relazione ai tre sistemi è che la ripulsione tra due cariche elettriche, oppure tra due poli magnetici, oppure l'attrazione tra due masse, è proporzionale al prodotto delle due cariche, o dei due poli magnetici, o delle due masse, diviso per il quadrato della distanza che li separa.

Sia r questa distanza in ciaschedun caso, F la forza di ripulsione o di attrazione, e una carica elettrica, m un polo magnetico, ed M una massa; allora quanto i risultati sperimentali dimostrano, è semplicemente che, quando A, B, e C sono costanti,

$$A\frac{e^2}{r^2} = B\frac{m^2}{r^2} = C\frac{M^2}{r^2} = F.$$

Per esprimere queste relazioni in termini di costanti fisiche definite, scriviamo:

$$A = \frac{1}{K};\ B = \frac{1}{\mu};\ C = G.$$

Allora noi abbiamo:

$$\frac{e^2}{Kr^2} = \frac{m^2}{\mu r^2} = \frac{GM^2}{r^2} = F.$$

Qui K è la quantità definita come la costante dielettrica, o la capacità specifica induttiva del mezzo, m è la permeabilità magnetica, e G è la quantità nota come la costante di gravitazione. L'attrazione di gravitazione non dipende, per quanto ci è stato possibile di spingere l'indagine, in qualsiasi modo dalla natura del mezzo. Essa è quindi semplicemente un numero. I valori di K e di μ, d'altra parte, si trovano variare col mezzo. Io posso qui far menzione che il valore di G, come

Digitized by Google

fu determinato da Cavendish, è 6.6×10^8; che μ è una quantità proporzionale alla densità dell'etere, essendo quindi misurato in unità C. G. S., in grammi per ogni centimetro cubico, e che esso probabilmente oltrepassa il valore di 10^{12}, ossia un bilione di volte la densità dell'acqua; e che K è una quantità misurata in centimetri cubici per ogni *erg*, e che esso è probabilmente minore di 10^{-32}.

Il sistema elettro-statico di unità è stato ottenuto col fare $K = 1$ per l'etere libero, o nell'aria, il che praticamente è la stessa cosa; cosicchè il valore di K ottenuto poi per un mezzo qualsiasi non è il valore assoluto per il mezzo stesso, ma il rapporto del suo valore per quel mezzo al suo valore per l'etere libero.

Il sistema elettro-magnetico di unità è stato ottenuto col fare $\mu = 1$ per l'etere libero, ossia nell'aria, ciò che è di nuovo praticamente la stessa cosa; e cioè il valore di μ nelle unità elettro-magnetiche per un mezzo qualsiasi, è il rapporto del suo valore assoluto per quel mezzo al suo valore assoluto per l'etere libero.

Finalmente, il sistema di unità di gravitazione impiegato da Laplace e da altri nelle indagini astronomiche, è stato ottenuto col prendere $G = 1$.

Se noi conosciamo le « dimensioni » di una quantità nei termini delle unità fondamentali di lunghezza, tempo e massa, noi possiamo sempre trasformare questa da un sistema di unità ad un altro. Per illustrare questo, prendiamo il semplicissimo caso di voler esprimere una velocità di 60 miglia all'ora, in piedi per secondo.

Sia v la velocità e V l'unità nel primo caso, e v' la velocità e V' l'unità nel secondo. Allora se noi scriviamo L ed L' e T e T' per le unità corrispondenti di lunghezza e tempo, noi avremo $Vv = V'v'$ e quindi

$$\frac{v'}{v} = \frac{V}{V'} = \frac{\frac{L}{T}}{\frac{L'}{T'}} = \frac{LT'}{L'T} = \frac{1760 \times 3}{1} \times \frac{1}{60 \times 60} = 88:$$

cosicchè 60 miglia all'ora equivalgono a 88 piedi per secondo.

Il valore di una unità in due sistemi può essere paragonato in un simile modo, come, per esempio, l'unità di elettricità, prendendo L, T ed M quali unità di lunghezza, tempo e massa. Allora, tanto nel sistema elettro-statico quanto in quello elettro-magnetico, $L = 1$ centimetro, $T = 1$ secondo, $M = 1$ gramma.

Digitized by Google

Ora, nel sistema elettro-statico, le dimensioni di e^2 sono:

$$\text{Forza} \times L^2 = \text{massa} \times \text{accelerazione} \times L^2 = \frac{ML}{T^2} \times L^2;$$

cosicchè le dimensioni di e sono $M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}$.

Nel sistema elettromagnetico noi abbiamo

$$\text{Forza sul polo magnetico} = \frac{\text{lung. d'arco} \times \text{corrente} \times \text{polo magnet.}}{(\text{distanza})^2}$$

quindi

$$\text{Corrente} = \frac{\text{forza} \times (\text{distanza})^2}{\text{lunghezza d'arco} \times \text{polo magnetico}} = \frac{MLT^{-2} \times L^2}{L \times M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}} = L^{1/2} M^{1/2} T^{-1}.$$

Ma la quantità e = corrente × tempo, epperciò le dimensioni di e ono

$$L^{1/2} M^{1/2}.$$

quindi

$$\frac{\text{Unità elettrostatica di quantità elettrica}}{\text{Unità elettro-magnetica di quantità elettrica}} = \frac{M^{1/2} L^{3/2} T^{-1}}{L^{1/2} M^{1/2}} = LT^{-1} = \text{velocità}.$$

Quando il valore di questa velocità è determinato col misurare il rapporto elettricamente, si trova che esso conduce allo stesso risultato, entro il limite di errori d'osservazione, come la misurazione della velocità della luce. È stata questa concordanza che dapprima indusse Maxwell a formulare la sua teoria elettro-magnetica della luce, dacchè questa velocità rappresenta la rapidità di propagazione di una perturbazione elettro-magnetica attraverso all'etere.

Le equazioni di Maxwell della propagazione di un'onda elettromagnetica attraverso all'etere mostra che se c è questa velocità, che noi chiameremo la costante di radiazione, allora

$$c = \frac{1}{\sqrt{K\mu}}.$$

L'approssimativo valore di c in unità C. G. S. è

$$3 \times 10^{10} \text{ centimetri per secondo.}$$

Digitized by Google

Noi possiamo far vedere che il prodotto $K\mu$ ha la dimensione della reciproca di una velocità al quadrato, come è richiesto dall'equazione precedente, in un modo semplicissimo indicato da Sir Oliver Lodge (1).

L, A, v, F, T, Q, m, rappresentino rispettivamente unità di lunghezza, di area, di velocità, forza, tempo, quantità elettrica, e polo magnetico.

Allora, per la definizione di Q ed m, noi abbiamo

$$Q = L \sqrt{KF} \quad \text{ed} \quad m = L \sqrt{\mu F}.$$

Ora la relazione tra un circuito elettrico ed il momento magnetico di un equivalente magnete è data dall'equazione

$$ml = \mu AC, \quad \text{oppure} \quad m = \mu v Q.$$

Quindi

$$\sqrt{\frac{\mu}{K}} = \frac{m}{Q} = \mu v \quad \text{ossia} \quad \mu K = \frac{1}{v^2} = \frac{\text{densità}}{\text{elasticità.}}$$

Noi sappiamo che Maxwell prende $\frac{4\pi}{K}$ come rappresentante l'elasticità elettrica. Se K_0, μ_0 sono i valori di K e di μ per l'etere, e l'elasticità dell'etere è presa come se fosse $\frac{4\pi}{K_0}$, allora (il valore c essendo nel medesimo tempo preso per v) le precedenti equazioni indicano che la densità ρ dell'etere deve avere il valore di $4\pi\mu_0$.

Il lettore non avrà difficoltà di spiegare da solo, sulle traccie del precedente esempio, il rapporto di una unità elettro-statica alle sue unità elettro-magnetiche corrispondenti; egli allora troverà che questi rapporti possono tutti essere espressi in termini di v, cioè:

Nei casi di quantità elettrica, di corrente in un circuito, potenziale magnetico, spostamento elettrico, forza magnetica, corrente ad un punto, vi sono v unità elettro-statiche in una unità elettro-magnetica.

Nei casi di polo magnetico, momento elettrico-cinetico di un circuito, forza elettro-motrice attorno ad un circuito, induzione magnetica, forza elettro-motrice ad un punto, vettore potenziale, vi sono $1/v$ unità elettro-statiche in una unità elettro-magnetica.

---

(1) Vedere: *Modern Views of Electricity*, Appendice.

Digitized by Google

Nei casi di capacità elettro-statica, capacità specifica induttiva, conducibilità, vi sono v^2 unità elettro-statiche in una unità elettro-magnetica.

Nei casi di capacità elettro-magnetica o coefficiente di auto-induzione, permeabilità magnetica, resistenza, vi sono $1/v^2$ unità elettro-statiche in una unità elettro-magnetica.

Estratti dalla Relazione della Conferenza Internazionale circa le Unità elettriche e Campioni relativi, Londra, ottobre 1908.

La Conferenza elesse un Comitato tecnico per abbozzare le specificazioni e per studiare ogni argomento che potesse essere riferito al Comitato e da riportare alla Conferenza. La Conferenza ed il suo Comitato tecnico tennero ciascuno cinque sedute. Quale risultato delle sue deliberazioni la Conferenza ha adottato le risoluzioni e le specificazioni annesse a questa Relazione, pubblicate nell'allegato B, e ha chiesto ai delegati di presentarle ai rispettivi Governi allo scopo di ottenere uniformità nella legislazione riguardo alle Unità elettriche ed ai Campioni.

La Conferenza raccomanda l'uso della pila normale di Weston quale metodo conveniente di misurare entrambe, e forza elettro-motrice e corrente quando sono messe in evidenza nelle condizioni specificate nell'allegato C.

Nei casi in cui non sia desiderato di esporre i campioni provveduti nelle risoluzioni (allegato B) la Conferenza raccomanda i metodi seguenti di operare per l'accertamento dell'*Ohm internazionale*, dell'*Ampère* e del *Volt*:

1° Per l'*Ohm internazionale* l'uso di copie, costrutte con materiale adatto e di forma adatta e verificata di tanto in tanto, dell'*Ohm internazionale*, dei suoi multipli e sotto multipli.

2° Per l'*Ampère internazionale*:

a) la misurazione di una corrente per mezzo di una bilancia elettro-dinamica campionata mediante paragone con un voltametro d'argento;

b) l'uso di una pila normale di Weston di cui la forza elettromotrice è stata determinata in termini dell'*Ohm internazionale* e

Digitized by Google

dell'*Ampère internazionale*, e di una resistenza di valore noto in *Ohms internazionali*.

3. Per il *Volt internazionale*:

a) un paragone colla differenza di potenziale elettrico tra le estremità di un rocchetto di resistenza di valore conosciuto in *Ohms internazionali*, mentre è percorso da una corrente di valore conosciuto in *Ampères internazionali*; oppure:

b) l'uso di una *pila normale Weston* la cui forza elettro-motrice è stata determinata in relazione all'*Ohm internazionale* e all'*Ampère internazionale*.

ALLEGATO B.

Deliberazioni.

I. La Conferenza è d'accordo che, come per il passato, le grandezze delle unità elettriche fondamentali saranno determinate nel sistema elettro-magnetico di misurazione riferendosi al centimetro come unità di lunghezza, al gramma come unità di massa, ed al secondo come unità di tempo. Queste unità fondamentali sono: 1) l'*Ohm*, l'unità della resistenza elettrica che ha il valore 1,000,000,000 relativamente al centimetro, ed al secondo; 2) l'*Ampère*, l'unità di corrente elettrica che ha il valore di un decimo (0.1) relativamente al centimetro, al gramma e al secondo; 3) il *Volt*, l'unità di forza elettro-motrice che ha il valore 100,000,000 relativamente al centimetro, al gramma, ed al secondo; 4) il *Watt*, l'unità di potenza, che ha il valore 10,000,000 relativamente al centimetro, al gramma ed al secondo.

II. Quale sistema di unità rappresentanti le precedenti e sufficientemente prossime a quelle da essere addottate per gli scopi di misurazioni elettriche e come una base per legislazione, la Conferenza raccomanda l'adozione dell'*Ohm internazionale*, dell'*Ampère internazionale*, e del *Volt internazionale* definiti secondo le seguenti definizioni.

III. L'*Ohm* è la prima Unità primaria.

IV. L'*Ohm internazionale* è definito come la resistenza di una determinata colonna di mercurio.

V. L'*Ohm internazionale* è la resistenza offerta ad una corrente elettrica costante da una colonna di mercurio alla temperatura

Digitized by Google

del ghiaccio in fusione, della massa di grammi 14.4521, di un'area costante della sezione trasversale, e di una lunghezza di cent. 106.300. Per determinare la resistenza di una colonna di mercurio relativamente all'*Ohm internazionale*, la procedura da doversi seguire sarà quella esposta nella prescrizione I annessa a queste deliberazioni.

VI. L'*Ampère* è la seconda Unità primaria.

VII. L'*Ampère internazionale* è la corrente elettrica costante la quale, mentre passa attraverso una soluzione di nitrato d'argento nell'acqua (in conformità della prescrizione II annessa a queste deliberazioni) deposita argento in ragione di grammi 0.00111800 al secondo.

VIII. Il *Volt internazionale* è la differenza costante di potenziale elettrico che, quando viene costantemente applicata ad un conduttore la di cui resistenza è un *Ohm internazionale*, produrrà una corrente di un *Ampère internazionale*.

IX. Il *Watt internazionale* è l'energia spesa per secondo da una corrente elettrica costante di un *Ampère internazionale*, sotto ad una pressione elettrica (ossia differenza di potenziale elettrico) di un *Volt internazionale*.

Prescrizione I

relativa ai campioni di mercurio per la resistenza.

I tubi di vetro impiegati per i campioni di resistenza di mercurio, devono essere fatti di un vetro tale che le dimensioni risultino costanti quanto è possibile. I tubi devono essere bene ricotti e diritti. Il foro dev'essere quanto più è possibile uniforme e circolare, e l'area della sezione trasversale del foro dev'essere approssimativamente di un millimetro quadrato. Il mercurio, che li riempie, deve avere una resistenza approssimativa di un *ohm*.

Ciascun tubo dev'essere accuratamente calibrato. La correzione da essere applicata per calcolare l'area della sezione trasversale del foro non essendo esattamente la stessa per tutte le parti del tubo, non deve eccedere 5 parti su 10.000.

Il mercurio, che riempie il tubo, deve essere considerato come limitato da superfici piane poste in contatto con le estremità del tubo.

La lunghezza dell'asse del tubo, la massa del mercurio che il tubo contiene, e la resistenza elettrica del mercurio hanno da essere deter-

Digitized by Google

minate ad una temperatura prossima, quanto più è possibile, a 0^0 C. Le misurazioni devono essere corrette a 0^0 C.

Per eseguire le determinazioni elettriche, i recipienti terminali che portano opportuni elettrodi destinati a guidarvi la corrente ed a prendere il potenziale, hanno da essere adattati sul tubo. Questi recipienti terminali hanno da essere di forma sferica (del diametro approssimativo di quattro centimetri) e dovrebbero avere dei pezzi cilindrici annessi per stabilire le congiunzioni coi tubi. Il bordo esterno di ciascuna estremità del tubo deve coincidere colla superficie interna del corrispondente recipiente terminale sferico.

I conduttori che fanno contatto col mercurio devono essere di filo sottile di platino fuso nel vetro. Il punto d'ingresso della direzione della corrente e l'estremità del tubo hanno da essere ai capi opposti di un diametro del bulbo; lo scandaglio del potenziale dev'essere a metà strada tra questi due punti. Tutti i conduttori devono essere così sottili che non vi possa essere introdotta variazione di resistenza per mezzo di trasmissione di calore al mercurio.

Il riempimento del tubo col mercurio per questo scopo di misurazioni della resistenza dev'essere effettuato colle stesse condizioni come il riempimento per la determinazione della massa.

La resistenza che ha da essere aggiunta alla resistenza del tubo per prendere in considerazione l'effetto dei recipienti terminali dev'essere calcolata colla formola

$$A = \frac{0.80}{1063\,\pi}\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) ohm,$$

dove r_1 ed r_2 sono i raggi in millimetri delle sezioni terminali del foro del tubo.

La media delle resistenze calcolate di almeno cinque tubi sarà presa per determinare il valore dell'unità di resistenza.

Per lo scopo di paragone di resistenze con un tubo di mercurio le misurazioni saranno fatte almeno con tre separati riempimenti del tubo.

Prescrizione II

relativa al deposito di argento.

L'elettrolito consisterà di una soluzione fatta con 15 a 20 parti in peso di nitrato d'argento in 100 parti d'acqua distillata.

Digitized by Google

La soluzione deve essere soltanto adoperata una volta, e soltanto per un tempo lungo quanto basti per il depositarsi di non più del 30 % dell'argento contenuto nella soluzione.

L'anodo sarà d'argento, ed il catodo di platino. La densità della corrente all'anodo non eccederà un quinto di *ampère* per centimetro quadrato, ed al catodo un cinquantesimo di *ampère* per centimetro quadrato. Non meno di 100 centimetri cubici di elettrolito sarà adoperato in un voltametro.

Si avrà cura che nessuna particella, che possa staccarsi meccanicamente dall'anodo, giunga al catodo.

Prima di pesare, ogni traccia di soluzione aderente al catodo deve essere rimossa, ed il catodo deve essere essiccato.

ALLEGATO C.

Pila normale di Weston.

La *Pila normale di Weston* può essere convenientemente impiegata come un campione di forza elettro motrice per la misurazione sia della E. M. F., sia della intensità della corrente, e quando montata d'accordo colla seguente prescrizione, può essere presa, provvisoriamente, come avente, ad una temperatura di 20° C., una E. M. F. di 1.0184 volts.

Prescrizione relativa alla Pila normale di Weston.

La *Pila normale di Weston* è una pila voltaica che ha una soluzione acquea satura di solfato di cadmio ($CdSO_4$ 8/3 H_2O) come elettrolito.

L'elettrolito dev'essere neutro al Rosso Congo.

L'elettrodo positivo della pila è mercurio.

L'elettrodo negativo della pila è un amalgama di cadmio consistente in parti 12.5 in peso di cadmio su 100 parti di amalgama.

Il depolarizzatore, che è posto in contatto coll'elettrodo positivo, è una pasta fatta mescolando solfato mercuroso con cristalli di solfato di cadmio polverizzati ed una soluzione acquosa satura di solfato di cadmio.

I differenti metodi di preparare la pasta di solfato mercuroso sono descritti in note annesse, quali appendici, alla relazione della Conferenza. Uno dei metodi colà specificati deve essere seguito.

Digitized by Google

Per mettere insieme la pila la forma di H è la più adatta. I conduttori che passano attraverso il vetro agli elettrodi devono essere di filo di platino, il quale non deve assolutamente esser lasciato venire a contatto dell'elettrolito. L'amalgama è collocato in un ramo, il mercurio nell'altro.

Il depolarizzatore è posto sopra del mercurio, ed uno strato di cristalli di solfato di cadmio è introdotto in ciaschedun ramo. La pila intiera è riempita con una soluzione satura di solfato di cadmio, e quindi ermeticamente sigillata.

La formola seguente è raccomandata per la E. M. F. della pila in relazione colla temperatura tra i limiti 0° C e 40° C.

$$E_t = E_{20} - 0.0000406\ (t - 20^0) - 0.00000095\ (t - 20^0)^2 + \\ + 0.00000001\ (t - 20)^3.$$

Digitized by Google

CAPO III.

Significato e possibilità di una teoria meccanica di elettricità.

Il più semplice ramo di fisica, e quello che fu per il primo sviluppato con un ben organizzato schema, si è quello che concerne i moti e l'equilibrio dei corpi, ed è conosciuto sotto il nome di meccanica. Le più antiche indagini, di cui noi abbiamo qualche documento, furono quelle dei Greci antichi, che s'interessarono esclusivamente delle condizioni d'equilibrio, originariamente in connessione con mezzi dei più semplici, come leve, puleggie, e piani inclinati. Non pare vi sia stato tentativo di ricerche intorno alle condizioni del moto, anteriore a quelle di Galileo nel sedicesimo e diciottesimo secolo. Nel corso delle indagini di lui, circa le leggi della caduta dei corpi, egli ha introdotto l'idea d'accelerazione, e con essa la moderna concezione di forza, fino ad allora conosciuta solamente nella forma di pressione.

In questo modo egli pose le fondamenta della dinamica di un singolo corpo, e poco dopo Huygens risolse i primi problemi circa a sistemi di corpi. Quest'ultimo fu seguito da vicino da Newton, il quale pubblicò il suo grande trattato sui *Principii matematici della Filosofia naturale* nell'anno 1686.

In quest'opera egli espose la sua scoperta della gravitazione universale, la quale estese così grandemente lo scopo della teoria meccanica, e completò a tale grado la formale enunciazione dei principii meccanici che il progresso, dopo il di lui tempo, ha consistito quasi intieramente di sviluppo matematico di forma sulla larga base delle leggi di Newton sul moto.

La forma colla quale la legge di gravitazione fu enunciata da Newton condusse all'espressione delle condizioni di equilibrio e di moto dei sistemi di corpi in rapporto colle forze che agiscono ad una distanza tra le particelle loro componenti, e condusse ad uno sviluppo corri-

Digitized by Google

spondente nei metodi matematici per l'investigazione di questi sistemi di forze centrali.

Newton stesso non fu mai soddisfatto dei sistemi dell'azione a distanza; ma sebbene dei fisici abbiano svolto delle rappresentazioni più soddisfacenti e complete per la più gran parte del largo stuolo dei fenomeni fisici, i tentativi più promettenti di spiegare la gravitazione sono tuttora allo stadio delle ipotesi, e queste ipotesi involvono pure, come noi vedremo nel Capo XIV, ciò che può soltanto essere designato come concezioni extra-fisiche.

Per più di un secolo dopo il tempo di Newton la teoria della forza centrale regnò suprema, ed era solamente da aspettarsi che, quando il primo tentativo fosse fatto per organizzare una teoria dei fenomeni elettrici e magnetici, esso dovesse essere costrutto sulle traccie della teoria delle forze centrali.

In conseguenza, si è presunto che le attrazioni e ripulsioni elettriche fossero dovute a forze centrali simile alle forze di gravitazione, ed agenti tra particelle di « materia elettrica », che era presupposta possedere le proprietà richieste per spiegare i fenomeni osservati.

I fenomeni magnetici furono ascritti in un modo consimile a distribuzioni di « materia magnetica ». Nelle mani di Cavendish, Coulomb, Poisson, ed altri, uno schema completo fu sviluppato che abbracciò tutti i fenomeni elettro-statici conosciuti ed una considerevole schiera di fenomeni magnetici.

Ampère formulò una teoria dell'azione mutua delle correnti elettriche, fondata sull'assunto della ripulsione e dell'attrazione, seguenti le stesse leggi dell'attrazione di gravitazione, tra ciascun paio di elementi di un sistema di correnti. Questa teoria fornì espressioni complicatissime, e d'aspetto artifizioso per le azioni mutue di correnti in circuiti non chiusi; ma le azioni di circuiti chiusi, le quali sole possono essere sperimentalmente verificate, erano in completo accordo con i risultati della teoria. Con le ulteriori estensioni che essa ricevette dalle mani di Weber, Newmann e di altri, quest'ipotesi diede una rappresentazione soddisfacente di un larghissimo numero di fenomeni, compresa la spiegazione degli effetti magnetici in rapporto alle correnti elettriche molecolari.

Lord Kelvin e von Helmholtz hanno mostrato che la grande scoperta di Faraday di induzione elettro-magnetica poteva essere stata anticipata da questa teoria, e Kirchhoff ha provato che essa spiegherebbe

Digitized by Google

la propagazione di onde elettriche di corti periodi lungo un filo metallico con una velocità pressochè uguale a quella della luce. Difatti, come fu sviluppata da Weber, questa teoria spiegò l'intiera classe dei fenomeni allora conosciuti e ne avrebbe spiegati degli altri non ancora scoperti in quei tempi. La teoria di Weber fu criticata sfavorevolmente da von Helmholtz per considerazioni generali dinamiche, ma gli argomenti di lui in verità mostrarono soltanto che lo schema induceva a risultati impossibili, nel caso di velocità, o frequenze di vibrazione, approssimantisi a quelle della luce; condizioni di cui non vi era alcuna evidenza sperimentale prima delle ricerche di Hertz sulle onde elettriche, nel 1888, cioè molti anni più tardi.

Che una teoria così comprensiva abbia da essere scartata in favore di una che giunga più lontano è un fatto notevole, ma per nessun verso isolato. Il sentiero del progresso nella scienza fisica è seminato di teorie che hanno servito al loro scopo, ed anche servito bene, col procedere alla loro propria sostituzione da altre più perfette, le quali, con tutta probabilità cederanno a loro volta il posto loro. Io confido di mostrare presentemente che questo risultato è quello che si deve aspettare da una essenziale caratteristica delle rappresentazioni meccaniche dei fenomeni fisici, e quale infatti non potrebbe essere diversamente.

Sir Joseph Larmor, nel suo trattato *Etere e Materia*, richiama l'attenzione sulla lettera scritta da Weber a Gauss nel 1845, nella quale il primo riferisce circa i suoi tentativi, non coronati da successo, di spiegare le forze tra le particelle elettriche muoventisi con questa base, non già di azioni propagate istantaneamente tra di esse, come si era presunto fino ad allora, ma di azioni propagate ad una velocità finita, come nel caso della luce.

Egli aveva la convinzione istintiva che il risultato desiderato non sarebbe ottenuto fintantochè non fosse stata formata una rappresentazione conseguente del modo in cui la propagazione potesse aver luogo. Come osserva Larmor, questa rappresentazione conseguente non potrebbe esser altro che una teoria dinamica del mezzo lucifero, l'etere. Noi vedremo nel Capo IV che un tale schema era stato esposto, sulla base di una teoria puramente ottica, da Mac Cullagh nel 1839, e la sua soluzione era identica nella forma con quella raggiunta da Maxwell circa venti anni dopo, dietro lo studio e la disamina di un molto maggior numero di fenomeni. Nello stesso tempo, le magnifiche

Digitized by Google

serie di scoperte fatte sperimentalmente da Faraday, nel proseguire nelle sue idee della trasmissione continua di azioni fisiche, fornirono materiali per una teoria elettrica logica e ben connessa, fondata sopra queste considerazioni. Faraday, in verità, compì molto di più che l'accumulazione del materiale, e l'importanza capitale dei suoi servigi a quel riguardo non giunge a menomare il valore della sua opera di costruzione nel collocare le fondamenta essenziali di una teoria meccanica dell'elettricità, basata sull'idea della trasmissione continua di tutte le azioni fisiche.

Il primo aspetto dell'opera di Faraday fu pienamente apprezzato dai suoi contemporanei, ma l'importanza di quel suo secondo aspetto fu afferrato dal genio di Clerk-Maxwell, per il primo.

La teoria di Faraday aveva la consistenza completa di una teoria sviluppata entro linee rigidamente matematiche; ma Faraday non era un matematico, e per conseguenza le di lui investigazioni non furono fuse in uno stampo matematico.

Le immagini impiegate da lui furono per tal motivo molto più difficili ad afferrare, e fu soltanto quando Maxwell le ebbe sviluppate in una forma matematica che la loro importanza fu pienamente intesa.

L'argomento è di un tale interesse ed importanza che non ho bisogno di giustificare il riprodurre qui la spiegazione di Maxwell nelle sue parole genuine, quali egli ce le ha date nella prefazione al di lui trattato sull'*Elettricità e Magnetismo*, pubblicato nel 1873.

Così si esprime egli:

« Prima che io cominciassi lo studio dell'elettricità, io mi ero prefisso di non leggere dei matematici su questo soggetto, prima di aver letto intieramente le *Ricerche sperimentali* di Faraday sull'elettricità. Io sapeva che s'era supposto esservi una differenza tra il modo di Faraday di concepire i fenomeni e quello dei matematici, cosicchè nè quello nè questi erano soddisfatti, ciascuno del linguaggio degli altri. Io avevo altresì la convinzione che questa discrepanza non proveniva da un errore di una delle due parti.

« Io fui dapprima convinto di questo da Sir William Thomson, al di cui avviso ed alla di cui assistenza, tanto come alle memorie da lui pubblicate, io devo la più gran parte di ciò che io ho imparato su questo soggetto.

« Nel procedere nellostudio di Faraday, io acquistavo la convinzione che il suo metodo di concepire i fenomeni era pure un metodo mate-

Digitized by Google

matico, sebbene non esibito nella forma convenzionale di simboli matematici. Io trovai ancora che questi metodi erano soggetti ad essere espressi nelle forme matematiche consuete, ed allora potevano essere paragonati con quelli dei matematici di professione.

« Per esempio, Faraday, mentalmente vide le linee di forza che attraversano tutto lo spazio dove i matematici videro centri di forza che attraggono ad una distanza: Faraday vide un mezzo dove essi non videro altro fuorchè distanza; Faraday ricercò la sede dei fenomeni nelle azioni reali che procedono nel mezzo, essi furono soddisfatti di aver trovato quella sede in una potenza di azione a distanza compenetrata nei fluidi elettrici.

« Quando io ebbi tradotto in forma matematica ciò che io consideravo essere le idee di Faraday, io trovai che in generale i risultati dei due metodi coincidevano, per modo che gli stessi fenomeni erano spiegati, e le stesse leggi di azione dedotte da entrambi i metodi, ma che i metodi di Faraday rassomigliavano a metodi di quella sorta che principiano dal tutto per giungere alle parti mediante l'analisi, mentre gli ordinari metodi matematici sono fondati sul principio di cominciare colle parti e di costruire il tutto per mezzo di sintesi.

« Io trovai altresì che molti dei più fruttuosi metodi di ricerca scoperti dai matematici potevano essere espressi molto meglio in termini di idee derivate da Faraday anzichè nella forma loro originale.

« L'intiera teoria, per esempio, del potenziale, considerata come una quantità che soddisfa certe equazioni parziali differenziali, spetta essenzialmente al metodo al quale ho dato il nome di Faraday. Secondo l'altro metodo, il potenziale, se pur esso dev'essere considerato, deve essere riguardato come il risultato di un sommare le particelle elettrizzate, divise ciascuna dalla loro rispettiva distanza da un dato punto. Perciò molte delle scoperte matematiche di Laplace, Poisson, Green e Gauss trovano un posto appropriato in questo trattato, e le loro espressioni appropriate stanno bene in termini di concezioni che sono principalmente derivate da Faraday ».

Maxwell non sviluppò egli stesso una teoria meccanica completa di elettricità basata sulle idee di Faraday della trasmissione continua di ogni sorta di azione fisica. Questo non era un lavoro da compiersi da un solo uomo, per quanto fosse pur grande il di lui genio. Maxwell però compì un grado di progresso della più grande importanza fondamentale collo sviluppare un insieme di argomenti che, soggetti ad una

Digitized by Google

singola correzione importante fornita di poi in seguito da Larmor, stabilirono definitivamente la possibilità di una tale teoria meccanica.

Il solo punto debole dell'argomento era la supposizione che la specificazione di una corrente elettrica, in rapporto colle serie continue di elementi di corrente impiegati da Ampère, fosse fisicamente perfetta.

Larmor mostrò che questo non era il caso e completò la dimostrazione col sostituire gli elementi separati della teoria degli elettroni, e col mostrare che questa specificazione era sufficiente.

Nell'intento di ottenere una concezione del significato di questo passo, e della maniera colla quale esso è stato fatto, noi dobbiamo considerare i metodi per mezzo dei quali si pervenne a generalizzazioni meccaniche, o leggi.

Un esempio eccellente è stato fornito dal procedimento addottato da Archimede nel terzo secolo avanti Cristo, nei suoi studi sulla pressione nei liquidi.

Esso consisteva essenzialmente nel riguardare la pressione dovuta ad una quantità di liquido come composta delle pressioni provenienti da un numero di simili più piccole porzioni in cui egli immaginava aversi da dividere l'intiera quantità. Egli per tal modo risolse un fenomeno comparativamente complesso in un numero di semplici elementi che erano tutti dello stesso genere, e nel far ciò egli rese possibile la fisica matematica.

È di competenza dei matematici il trattare le combinazioni di quantità dello stesso genere, e quindi, quando un problema fisico può essere espresso in termini di tali elementi, non è generalmente necessario il ragionare questo completamente dai suoi elementi a gradi, ciascuno dei quali consistente in un ragionamento specialmente architettato per l'applicazione al problema che ci sta davanti. Molto di questo può essere ovviato dall'uso di meccanismi matematici che possono forse essere stati elaborati per la soluzione di problemi fisici differentissimi, o possibilmente da lavoratori interessati solamente nello sviluppo del meccanismo stesso, senza pensiero o cura circa la sua possibile applicabilità all'estensione di nostra conoscenza dei fenomeni fisici.

Si vedrà da questo che l'applicazione di un ragionamento matematico ai risultati di osservazioni non può non condurre a qualche conclusione che non sia implicitamente contenuta nelle osservazioni stesse. Ciò che a noi importa è il dimostrare l'esistenza di molte con-

Digitized by Google

seguenze, le quali, eccetto che per assistenza matematica, sarebbero rimaste celate ai nostri sguardi, sepolte, anzi, sotto la complessività dei risultati osservati.

Come un secondo esempio noi possiamo prendere l'indagine di Galileo circa la relazione tra la velocità acquistata da un corpo cadente dallo stato di riposo, e il tempo della caduta. Il metodo che egli ha adottato era per presumere ciò che a lui appariva quale probabile relazione, e quindi paragonare i risultati dell'ipotesi con quelli ottenuti per mezzo dell'osservazione. Supponendo che la velocità aumentasse di uguali somme in tempi uguali, sorgeva la questione quale fosse il metodo migliore per testimoniare la correttezza della supposizione. La misurazione diretta delle velocità sarebbe un affare difficile, e sarebbe molto più agevole di misurare la distanza dell'intera caduta. Ma se la supposizione fatta fosse corretta, queste distanze sarebbero proporzionali ai quadrati dei tempi; e reciprocamente, se quest'ultima relazione reggesse, la validità della supposizione sarebbe dimostrata. L'esperimento ha mostrato questa essere la relazione che connette i tempi e le distanze, e quindi la verità della supposizione è stata stabilita. Il derivare la relazione tra la distanza ed il tempo dalla relazione tra la velocità ed il tempo, può essere effettuato sia con una semplice somma algebrica, sia per mezzo di una facile costruzione geometrica, sulla base di una divisione del tempo di caduta in un numero di parti uguali. Entrambe, la distanza dell'intiera caduta e la velocità, sono, nel caso considerato, quelle che vengono dette funzioni del tempo, cioè esse sopportano variazioni di valore secondo come il tempo varia.

Il rapporto della velocità alla distanza è un esempio tipico di una relazione che è di primaria importanza nel trattare matematicamente i problemi fisici. La ragione della distanza attraversata da una particella mobile al tempo impiegato nell'attraversare quella è definita essere la velocità media o la minima della particella durante quell'intervallo di tempo.

Se l'intervallo del tempo preso è così piccolo che non vi sia sensibile cambiamento di velocità durante quell'intervallo, la ragione rappresenterà la velocità ad un istante incluso nell'intervallo, e può essere definita come la ragione di variazione, a quel dato istante, della distanza percorsa, relativamente al tempo. Lo studio di relazioni quantitative di questo genere non era sorto anteriormente, e nuovi metodi

Digitized by Google

matematici furono immaginati da Newton e da Leibnitz per trattarne.

La velocità è definita da questo punto di vista come la prima derivata della distanza rispetto al tempo. L'accelerazione, definitivamente introdotta da Newton per il primo, porta la stessa relazione alla velocità che questa porta alla distanza percorsa. Vale a dire, l'accelerazione è la ragione di variazione della velocità rispetto al tempo, e matematicamente essa è quindi la prima derivata della velocità rispetto al tempo. È quindi detto altresì essere la seconda derivata della distanza descritta rispetto al tempo. Il tempo in simili casi è detto essere l'indipendente variabile.

I principii enumerati da Newton resero teoricamente possibile di determinare i movimenti futuri di ogni sistema di corpi consistenti di specificate masse gravitanti, occupanti posizioni specificate, ed aventi velocità specificate, ad un dato istante. Supponiamo, per amore di semplicità, che tutti i corpi siano così piccoli paragonati colle loro distanze relative che non possa ammettersi un errore sensibile trattandoli come se la posizione di ciascuno potesse essere considerata come fissata da quella di un singolo loro punto, nel quale l'intiera loro massa può essere supposta concentrata. Allora, se ciascun paio di punti è congiunto da una linea retta, lunghesso ciascuna di tali linee congiungenti due particelle sorgerà, secondo la legge di Newton, un'accelerazione relativa delle due particelle, che saranno determinate dalle loro masse, e dalla distanza che le separa all'istante del tempo in cui il sistema è considerato. Il risultato di queste accelerazioni sarà il sovrapporre alla velocità iniziale di ciascuna particella una velocità nuova in una direzione differente. Consideriamo il sistema di nuovo dopo trascorso un intervallo di tempo così corto che l'effetto delle variazioni nelle accelerazioni, dovuto alle posizioni alterate delle particelle, possa essere negletto. Lo spostamento di ciascuna particella può allora essere ottenuto come la risultante dello spostamento dovuto alla sua velocità iniziale, e delle accelerazioni dovute a ciascuna delle altre particelle del sistema. Le nuove accelerazioni possono allora essere determinate nelle nuove posizioni relative delle particelle, e quindi usate per determinare le variazioni in queste posizioni dopo un secondo piccolo intervallo di tempo. Nel caso di un piccolo numero di particelle, tutte nello stesso piano, le posizioni successive possono essere rappresentate senza difficoltà col costruire successivi diagrammi sopra una tavoletta da disegno; ma questo pro-

Digitized by Google

cedimento riuscirebbe tedioso, e, fuorchè in casi semplici, sarebbe impossibile di effettuarlo praticamente.

Quantunque la sua natura rimarrebbe inalterata, il problema diverrebbe ancor più complesso se le particelle fossero aggregate in mucchi. È stato collo scopo di liberarsi da queste difficoltà che i nuovi metodi matematici, ora noti col nome di differenziazioni ed integrazioni, furono escogitati da Newton e da Leibnitz, indipendentemente l'uno dall'altro.

Il moto di un tale sistema sarà pienamente determinato se noi possiamo esprimere le posizioni delle masse ad ogni tempo in rapporto alle posizioni iniziali ed alle velocità ed in rapporto al tempo che è trascorso dopo lo stato iniziale. Il primo passo è di fissare le posizioni delle particelle per mezzo delle così dette coordinate. Un esempio famigliare ci viene fornito dalla determinazione della posizione di un punto sulla superficie della terra per mezzo della sua latitudine e longitudine. Un metodo conveniente molto generalmente usato per determinare le posizioni di un punto nello spazio si è di prendere come sue coordinate le sue distanze da una serie di tre piani ad angoli retti l'uno coll'altro. Le distanze tra le particelle possono pure essere espresse per mezzo di coteste coordinate, e così pure possono esserlo le velocità e le accelerazioni, cioè, come prime e seconde derivate delle distanze rispetto al tempo. Un'equazione, od una serie di equazioni, possono essere stabilite, esprimenti le relazioni tra le coordinate e le loro prime e seconde derivate rispetto al tempo. Nel caso del sistema di coordinate riferite dianzi, le distanze tra le particelle sono rimpiazzate dalle loro componenti, parallele alle tre linee d'intersecazione dei piani di riferimento, e si ottengono tre serie di equazioni, ciascuna esprimente le relazioni tra le distanze misurate, parallele a quelle di queste linee di intersecazione, od assi delle coordinate, e la prima e la seconda ragione di variazione di queste distanze rispetto al tempo, rappresentando le velocità e le accelerazioni parallele agli stessi assi. Queste equazioni sono denominate equazioni differenziali; e, poichè non contengono alcuna derivata di grado più elevato che il secondo, esse sono dette ancora essere di second'ordine. La possibilità di esprimere le condizioni di moto per mezzo di equazioni differenziali è pura conseguenza matematica del fatto che gli stati successivi di tale sistema sono derivati l'uno dall'altro mediante continue variazioni, e non per mezzo di salti improvvisi, cosicchè lo stato di tale sistema può sempre essere determinato dalla condizione immediatamente precedente quello in tempo,

Digitized by Google

senza tener conto quali potrebbero essere state le condizioni di più remoti periodi. La restrizione dell'ordine delle equazioni al secondo è dovuta alla comparativamente semplice natura delle leggi sperimentali che sono state trovate adeguate alla specificazione dei moti di sistemi di masse.

Ogni gruppo di fenomeni di cui la sequenza di variazioni in tempo può essere mostrata di essere tale che le relazioni tra di loro ad ogni istante possono essere determinate da una conoscenza delle relazioni esistenti ad un istante immediatamente precedente, può essere detto di essere capace di rappresentazione meccanica, e questa condizione può essere presa come una rappresentazione meccanica nel suo senso più largo possibile.

Per pratica convenienza è stato trovato da consigliarsi di restringere questo più largo significato del termine rappresentazione meccanica mediante la condizione ulteriore che essa si conformerà ai principii generali di dinamica quali sono contenuti implicitamente ed esplicitamente nelle leggi di Newton circa il moto, ed egli è in questo senso ristretto soltanto che io impiegherò questo termine. La risultante perdita di generalità è più apparente che reale, poichè l'esperienza ha invariabilmente dimostrato che rappresentazioni, le quali non erano comprese entro il ristretto significato del termine, avevano da essere respinte per causa della loro mancanza di conformità coi fatti di osservazione. L'effetto della restrizione è, quindi, meramente per prevenire perdita di tempo e di sforzo nel formulare infruttifere ipotesi. Prima di procedere a considerare la più semplice e più conveniente espressione dei principii di Newton, per lo scopo a cui miriamo, io farò una leggera digressione per considerare un punto che, quantunque non strettamente involto nel nostro presente argomento, può essere occorso a qualunque dei miei lettori come una difficoltà pratica nell'applicare i principii di Newton alla determinazione degli stati successivi di un sistema materiale.

Io ho di già fatto osservare che questo problema è fatto più complesso quando le particelle invece di essere separate nello spazio, sono aggregate in gruppi per modo da formare ciò che noi chiamiamo corpi materiali. La complessità involta nel passare da particelle separate ad una distribuzione continua della materia nello spazio è esattamente analoga a quella incontrata nel passare da una serie di separati stati successivi ad una continua variazione in tempo, e simili metodi matematici sono

Digitized by Google

utili per trionfare delle difficoltà risultanti. Quando il sistema varia continuamente col tempo, noi dobbiamo esprimere la velocità e l'accelerazione come derivate del tempo, quale un indipendente variabile. Invece di procedere da punto a punto nel tempo, noi dobbiamo ora procedere da punto a punto nello spazio, e quindi, se non fosse involta ulteriore differenza, noi avremmo semplicemente da considerare le ragioni di variazione nella velocità e nell'accelerazione dovuta alla variazione in posizione, invece di quelle dovute alla variazione in tempo. Il che vale a dire, parlando matematicamente, noi avremmo ad esprimere queste quantità come derivate delle coordinate invece di esprimerle come derivate del tempo. Vi è, tuttavia, un'ulteriore differenza. Nel caso della successione in tempo, noi stiamo sempre trattando le stesse particelle, mentre, nel cambiare da una posizione ad un'altra nello spazio, questo non è il caso. Del resto, a cagione dell'omogeneità della materia, le successive serie di particelle incontrate durante i cambiamenti di spazio del sistema, usualmente si rassomigliano cotanto strettamente l'una all'altra che non può essere introdotto un errore apprezzabile col trattarle come se fossero identiche. Questa presunzione non è però sempre ammissibile. Quindi se noi fossimo considerando i moti di una palla di ferro ripiena d'acqua, noi giungeremmo a risultati scorretti se noi trattassimo l'intiera massa come consistente di materia simile. Noi avremmo quindi da considerare il ferro e l'acqua separatamente, ma i metodi continui di trattamento matematico sarebbero tuttavia separatamente applicabili entro i limiti del ferro e quelli dell'acqua rispettivamente.

Non consegue dalla sufficienza teorica dei principii newtoniani per il trattamento di ogni possibile problema meccanico, che essi necessariamente ci porranno in grado di risolvere ogni e ciascun consimile problema che possa suggerirsi. Noi vedemmo che, per applicarli, è necessario per noi di entrare in particolari molto considerevoli nella specificazione del problema, e questo non è sempre possibile, e nel caso di problemi di fisica molecolare od atomica questo è quasi invariabilmente impossibile. I metodi di Newton erano puramente geometrici, e per conseguenza servibili soltanto per ciò che è conosciuto come il metodo *sintetico*, in cui la soluzione di un problema è ricercata col trarne deduzioni da presunzioni date, e quindi paragonando queste deduzioni coi fatti osservati. Inoltre nel seguire questo sistema, non può essere progettato un metodo generale di procedimento, una volta

Digitized by Google

per tutte. Ciascun problema dev'essere considerato separatamente, ed involverà generalmente l'uso di artifizi speciali, e spesso in nessun modo ovvii. Nel più generale metodo *analitico*, che è stato reso possibile dall'applicazione di metodi algebrici alla geometria, noi ci sforziamo di determinare le condizioni di moto di un sistema direttamente dai dati nella forma dei fatti osservati. Il primo importante progresso in questa direzione fu fatto da d'Alembert, nel 1743, nel suo enunciato di un principio generale che spiana la via a risultati nell'investigazione di problemi d'equilibrio, che devono essere utilizzati nel trattare questioni relative alle azioni mutue di sistemi di particelle aventi connessioni fisse tra di loro. Questo passo, tuttavia, non rese possibile di far a meno della considerazione dei particolari. Esso facilitò meramente le investigazioni col render atta la conoscenza previamente acquistata di questi particolari ad essere utilizzata in parecchi casi dove, altrimenti, sarebbe stato necessario di condurle a termini indipendentemente. Un tentativo senza successo fu fatto da Maupertuis nel 1747 di formolare un singolo principio generale, nella forma di una legge della « azione minima », circa la variazione da uno stato di un sistema ad un altro, e che egli propose come un principio eminentemente in armonia colla saggezza del Creatore. Nessuna espressione definita di un tale principio fu mai ottenuta da Maupertuis, ma i di lui tentativi per raggiungere una tale espressione indussero Eulero a formolare una semplice espressione definita, che, nel caso di una particella spostantesi da una posizione a quella vicina, avrà un minor valore per il percorso reale che per ogni altro possibile strettamente adiacente a quello, sempre purchè la velocità dipenda da non altre quantità variabili all'infuori di quelle che determinano la posizione della particella (1). L'indirizzo preso da Eulero si era che gli scopi dei fenomeni naturali forniscono una base altrettanto soddisfacente per la loro spiegazione quanto la forniscano le loro cause. Egli quindi suppose la probabilità *a priori* dell'esistenza di una condizione *maximum* o *minimum* nel caso di ogni fenomeno

(1) *Nota matematica.* — Il principio di Eulero si è che, quando v è una funzione soltanto delle coordinate della particella, l'espressione $\int v ds$ sarà un minimo per il percorso reale della particella, dove ds è un elemento del percorso, e v è la velocità corrispondente. Il percorso può quindi essere determinato coll'esprimere matematicamente la condizione che $\int v ds$ sarebbe un *minimum*.

Digitized by Google

naturale. Egli, tuttavia, non si aspettò di poter accertare il carattere di tale massimo o minimo per mezzo di ragionamento puramente metafisico, ma ricercò, nel corso dell'ordinario procedimento per la soluzione di problemi meccanici, di trovare un'espressione che fosse in tutti i casi un massimo od un minimo. Fu conseguentemente osservato da Jacobi che, sebbene questa condizione sia molto generalmente soddisfatta, essa tuttavia non lo è universalmente. Eulero aveva di già, nel 1736, posto le basi per un trattamento analitico di problemi meccanici, ed ulteriori importanti progressi furono fatti da Mac Laurin in un trattato pubblicato nel 1742. Sulle basi poste da questi due eminenti matematici apparve nel 1788 un edifizio di grandezza e di bellezza imponenti, cioè il sistema di Lagrange di meccanica analitica. Lagrange aveva tentato in un suo lavoro giovanile di fondare la meccanica sul principio di Eulero dell'*azione minima*, ed estese questo principio ai sistemi di masse (1): ma nella *Meccanica analitica* egli dichiara espressamente questa sua intenzione di scartare completamente ogni speculazione metafisica quale base della dinamica. Il di lui sistema di statica era basato su ciò che adesso è conosciuto come il principio del lavoro, ma era allora conosciuto come il principio delle *velocità virtuali*, nome dato a quello da John Bernoulli. Stevinus aveva impiegato quello stesso principio verso la fine del sedicesimo secolo nelle sue indagini sull'equilibrio delle puleggie, e dei corpi in riposo su piani inclinati.

Lagrange deriva il suo sistema di dinamica direttamente dal principio di d'Alembert, ed ottiene un sistema di equazioni differenziali che sono di un carattere straordinariamente semplice e simmetrico, e nel tempo stesso estremamente comprensivo. Se il sistema consiste di n particelle materiali, allora si richiederanno $3n$ coordinate per specificare completamente il sistema, e $3n$ equazioni differenziali saranno ottenute, e queste saranno sufficienti per determinare le $3n$ coordinate ad ogni dato tempo nei termini dei dati del problema, e quindi per determinare completamente il moto del sistema, purchè non vi siano connessioni o costringimenti tra le particelle. Se tali connessioni esistono, allora

(1) *Nota matematica.* — L'estensione di Lagrange del principio di Eulero fu espressa nella forma $\delta \sum m \int v ds = 0$, che significa che la variazione della somma di tutti gli integrali della forma $m \int v ds$ è uguale a zero. È stato osservato da Jacobi che il principio di Eulero non sarebbe soggetto ad eccezioni, com'è menzionato nel testo, se fosse espresso nella forma $\delta \int v ds = 0$.

Digitized by Google

ciascuna di queste darà luogo ad una equazione tra le coordinate. Supponiamo che vi siano m di tali equazioni. Esse ci porranno in grado di distrigarci di m in più delle $3n$ previe equazioni, nel tener conto frattanto dei costringimenti specificati. Vi rimarranno $3n - m$ delle equazioni originali, le quali, insieme con le m equazioni di costringimento, lascieranno ancora $3n$ equazioni, sufficienti per determinare il moto. L'adattabilità del metodo di Lagrange ad una amplissima classe di problemi fisici è largamente dovuta all'estrema generalità colla quale le coordinate possono essere scelte. Per ottenere qualsiasi risultato dall'investigazione matematica di un gruppo di fenomeni fisici, noi dobbiamo poter misurare un certo numero di quantità in connessione con ciò. Queste quantità, qualunque sia la loro natura, possono essere prese come coordinate del sistema. Noi, naturalmente ci sforzeremo di ottenere, per mezzo di osservazioni, i valori di un sufficiente numero di quantità per specificare completamente il sistema, altrimenti, a meno che questo possa essere effettuato, una soluzione completa sarà impossibile. In qualche problema fisico del più alto interesse può essere impossibile il determinare un sufficiente numero di tali coordinate da specificare completamente il sistema. Ma anche in tali casi l'applicazione del metodo di Lagrange può porci in grado di imparare molto intorno al gruppo dei fenomeni in quistione, perchè, se noi possiamo sorpassare le difficoltà tutte matematiche, esso darà a noi tutte le informazioni che sono ottenibili dai dati a nostra disposizione. Supponiamo, tuttavia, che noi stiamo trattando di un problema nel quale noi siamo stati capaci di determinare completamente le coordinate. Osservazioni ulteriori ci porranno generalmente in grado di ottenere una serie di equazioni che esprimono relazioni tra le coordinate dovute a mutui costringimenti. Se tutte le relazioni realmente esistenti di questo genere sono determinate, in aggiunta ad un numero sufficiente di coordinate per specificare il sistema, il sistema risultante di equazioni determinerà completamente il sistema per ogni tempo. La nostra conoscenza teorica del gruppo di fenomeni sarà pertanto logicamente completa. Le relazioni così ottenute, tuttavia, non trasmetteranno idee definite ad una mente non allenata matematicamente, ed anche il matematico allenato sentirà che egli ha ottenuto di afferrare molto meglio il soggetto se egli può trasmutare relazioni di carattere non famigliare in altre comparativamente famigliari, tali come le relazioni tra masse in

Digitized by Google

moto o particelle. Questo egli farà per costrurre un sistema mediante tali elementi famigliari che condurranno a serie similari di equazioni.

Ogni problema riferentesi a particelle in moto oppure a masse di cui le coordinate possono essere specificate, può essere espresso direttamente nei termini del sistema di equazioni di Lagrange; ma in molte classi di problemi, come quelli relativi alla fisica molecolare od ai fenomeni elettrici, il solo metodo possibile di esprimerli in una forma dinamica eccetto che coll'aiuto di ipotesi non necessarie, è nei termini dell'energia del sistema. Il principio di « conservazione dell'energia » asserisce che, secondo i risultati di esperienza molto inoltrata, è stato trovato che sempre quando un'energia sparisce in una forma essa riappare in una altra senza perdita. Questo principio importante fu stabilito in termini definiti per il primo da Giorgio Green nell'anno 1837, ed è stato pienamente confermato da ogni esperienza posteriore, cosicchè esso ora emerge come uno dei più fermamente stabiliti tra i fatti naturali. Esso fu, tuttavia, implicitamente compreso nella negazione delle possibilità del moto perpetuo, che fu il principio impiegato da Stevinus nelle di lui investigazioni circa l'equilibrio.

Questo stesso principio di lavoro fu largamente usato da Huygens per la soluzione di numerosi problemi meccanici, e fu implicitamente contenuto in uno scolio alla terza legge di Newton sul moto, il quale scolio, come fu osservato da Lord Kelvin e dal professor Tait, è praticamente equivalente al principio di d'Alembert. Esso formò la base essenziale del principio di Eulero della « azione minima », e quella della più completa e più conveniente espressione di detto principio, quale fu formolata da Sir William Rowan Hamilton al principio del XIX secolo. L'energia di un sistema dinamico dividesi naturalmente in due parti, cioè, l'energia cinetica, che noi chiameremo T, e che, nel caso di un sistema di particelle, dipende soltanto dalle masse e velocità di queste particelle; e l'energia potenziale, che noi chiameremo W, e che dipende soltanto dalle coordinate delle particelle. Il principio della conservazione dell'energia asserisce che la somma di queste è costante per ogni sistema, e che è pertanto espressa dall'equazione:

$$T + W = \text{costante}.$$

Se il sistema è tale che sia conveniente di esprimerlo nei termini di coordinate generalizzate, allora W può essere espresso in termini delle

Digitized by Google

coordinate sole, ossia in linguaggio matematico, sarà una *funzione* delle sole coordinate, mentre T sarà una funzione delle coordinate e delle loro prime derivate rispetto al tempo.

Nella forma hamiltoniana del principio della « azione minima » l' « azione » che determina il moto è ritenuta essere la differenza tra l'energia cinetica e quella potenziale del sistema. Il principio quindi asserisce che quando il sistema passa dal suo stato ad un dato istante di tempo al suo stato ad un altro istante, il percorso seguito — in altre parole, il seguito di cambiamenti attraverso ai quali passa il sistema — sarà tale che il valore medio di questa differenza, durante l'intervallo di tempo occupato nel passaggio, sarà minore per il percorso reale che per ogni altro possibile percorso strettamente adiacente.

Qualora W e T siano due funzioni conosciute delle coordinate questa condizione ci porrà in grado di ottenere le equazioni di Lagrange che determinano il moto. Se W e T non sono funzioni conosciute delle coordinate, ma se noi possiamo mostrare che la prima (cioè W) è una funzione delle coordinate sole, e l'altra (T) è una funzione soltanto delle coordinate e delle loro prime derivate rispetto al tempo, la possibilità di una rappresentazione meccanica del gruppo dei fenomeni sarà con ciò dimostrata, ma in quel caso vi sarà un numero infinito di tali rappresentazioni che soddisferà alle richieste condizioni. Ogni sistema pel quale questo principio si può applicare obbedirà necessariamente alla legge di conservazione di energia, dacchè questo è implicitamente involto nella condizione che l'energia potenziale del sistema fosse capace di espressione nei termini delle sole coordinate (1). Il principio stesso può essere dedotto come conseguenza del principio di d'Alembert, che è, come noi abbiam veduto, implicitamente compreso nel sistema newtoniano. Hertz, nei suoi *Principii di meccanica*, sollevò una pratica obbiezione all'uso del principio di Hamilton nella spiegazione dei fenomeni naturali. Egli osserva che quello comprende la presunzione che il sistema naturale al quale esso è applicato è di un tale carattere che tutti i suoi moti continui concepibili siano quelli real-

(1) *Nota matematica.* — Il principio di Hamilton è espresso nell'equazione

$$\delta \int_{t_0}^{t_1} (T - W)\, dt = 0,$$

dove t_0 e t_1 sono i valori iniziale e finale del tempo.

Digitized by Google

mente possibili. Questa condizione sarà necessariamente soddisfatta se l'energia potenziale è una funzione delle sole coordinate; ma nei problemi di dinamica molecolare, per esempio, le coordinate reali sono praticamente infinite di numero, ed inaccessibili all'osservazione, e le coordinate impiegate sono ottenute da queste per mezzo di un processo di prendere delle medie.

Questo processo implica necessariamente la supposizione che il sistema non subisca nessun cambiamento di costituzione, e che le sue condizioni termiche rimangano costanti. In altre parole, il sistema è presunto essere un sistema conservativo o permanente, cioè, uno che può essere riportato ad ogni previa condizione con mezzi puramente meccanici, come sarebbe l'invertimento delle velocità sensibili. È spesso possibile di separare da un sistema non conservativo una parte che può essere trattata come formante un sistema conservativo. Il principio di Hamilton può quindi essere applicato a questa parte, mentre devono essere stimate separatamente le forze sorgenti dalle azioni del rimanente, e devono essere trattate come se applicate dall'esterno della parte conservativa.

Lord Rayleigh, nel 1873, fece una importantissima estensione del principio di azione minima, che rende possibile in molti casi l'evitare la considerazione di un sistema esterno di forze di questo genere, che può essere difficilissimo a determinare. Egli dimostrò che, quando la viscosità di un mezzo è di tal carattere che lo sforzo di frizione tra due delle sue particelle è proporzionale alla loro velocità relativa, nel qual caso è ritenuta la geometrica similarità del sistema, allora il principio di Hamilton può essere reso applicabile coll'aggiunta di ciò che vien denominato una funzione di dissipazione, la quale è esprimibile in termini delle coordinate e dei quadrati delle velocità relative. Perfino con questa estensione, tuttavia, il principio di Hamilton non può essere considerato come rigidamente applicabile a tutti i sistemi reali di fenomeni naturali. Esso si applica con rigida accuratezza solamente alle presentazioni semplificate di quelli; ma certamente provvede a noi approssimazioni alla verità molto vicine nella maggior parte dei casi, se pur non sempre.

Hertz ha messo in campo un principio meccanico ancor più generale, che include quello dell'azione minima come un caso speciale; ma sfortunatamente egli non visse abbastanza per poterlo applicare, e la sua accresciuta generalità rende maggiormente difficile il suo uso. Anche

Digitized by Google

questo principio più generale, tuttavia, supponendo che ulteriori sviluppi matematici dovessero rendere il suo impiego altrettanto conveniente quanto quello del principio di azione, non ci porrebbe in grado di attaccare ogni reale problema naturale in tutta la sua generalità. Noi saremmo ancora obbligati, sebbene ad un'estensione minore di quella presente, di trattare soltanto matematicamente presentazioni semplificate, o modelli, di fenomeni naturali, limitando l'attenzione nostra ai limitati gruppi di azioni dinamiche esibite da questi modelli. La graduale estensione di tali modelli per mezzo di metodi analitici, frenata dal paragone costante con i risultati dell'osservazione e dell'esperimento, fornisce a noi ciò che noi appelliamo delle teorie meccaniche dei fenomeni fisici. Sebbene sempre crescenti, essi non possono mai diventare completi, ed essi devono sempre rimanere soggetti alla possibilità che qualche nuova osservazione, forse dapprima in apparenza di carattere poco importante, possa aver bisogno di una ricostruzione molto estensiva.

Maxwell nel suo trattato sull'*Elettricità e Magnetismo*, partì dal concetto di Faraday, che le linee di forza magnetica tendono ad accorciarsi, e che esse si respingono l'una coll'altra quando sono collocate a lato a lato. Egli quindi espresse il valore della tensione lungo le linee, e la pressione ad angoli retti con quelle, in linguaggio matematico, e provò che lo stato di sforzo così presunto esistere nel mezzo produrrebbe realmente, sia le forze elettrostatiche osservate, sia le forze osservate sui conduttori percorsi da correnti elettriche. Egli espressamente osserva (vol. I, p. 132) che egli non ha in verun modo spiegato questo sforzo, o spiegato come esso è mantenuto, e stabilisce che egli non è stato capace di fare il passo ulteriore di spiegare questi sforzi nei corpi dielettrici mediante considerazioni meccaniche. Nella stessa pagina egli osserva, riferendosi alla sua dimostrazione circa la possibilità di spiegare fenomeni elettrostatici in questa maniera: « Questo passo, tuttavia, sembra a me importante, poichè esso spiega, coll'azione delle parti consecutive del mezzo, fenomeni che erano dapprima supposti spiegabili solamente mediante azione diretta ad una distanza ».

L'investigazione dei fenomeni di correnti elettriche è basata sulla capacità di una corrente elettrica di compiere lavoro meccanico, indipendentemente da ogni forza elettromotrice esterna che mantenga la corrente. La capacità di compiere lavoro, egli osserva, è niente altro che l'energia, e l'energia di una corrente elettrica è, o di quella forma

Digitized by Google

che consiste nel moto reale della materia, conosciuta come energia cinetica, o di quell'altra che consiste nella capacità dell'esser posta in moto, sorgente dalle forze agenti tra corpi collocati in certe posizioni relative. Questo secondo genere di energia, che è detta energia potenziale, è dovuto all'azione di ciò che nomiamo forze, vale a dire tendenze al cambiamento di una posizione relativa.

Egli osserva che la corrente elettrica può essere concepita come un fenomeno cinetico solamente. Colle parole di Faraday « essa è qualche cosa di progressivo, e non un puro assestamento ». Maxwell quindi dimostra che le funzioni F e W possono rappresentare l'energia cinetica e l'energia potenziale, rispettivamente, di un sistema di corpi conduttori percorsi da correnti elettriche, e che soddisfano il principio di Hamilton dell'azione minima. Nessuna supposizione può esser fatta circa alla natura del meccanismo o delle connessioni delle parti del sistema. La forma e posizione dei circuiti conducenti sono presunte di essere determinate da una serie di coordinate, mentre una seconda serie determina il moto dell'elettricità e di ogni cosa di cui il moto è governato da quello dell'elettricità. L'esistenza di questa materia in moto, qualunque sia la sua natura, è resa necessaria, per la presunzione che non vi sia azione a distanza, ma che esistano solamente azioni tra le parti contigue del mezzo, per via del fatto osservato che correnti in circuiti differenti influiscono l'una sull'altra.

Maxwell qui spiega una serie limitata di fenomeni, come la serie esposta nel Capo I, ed egli mostra che il principio di Hamilton è applicabile a quella serie quando espressa in termini di azioni tra parti adiacenti di un mezzo continuo, e che una spiegazione meccanica di quelli è quindi possibile su questa base. Egli stesso pose soltanto le fondamenta di tale spiegazione, ma così solidamente e così largamente che non è ancor stato trovato che fosse richiesta demolizione alcuna, ma soltanto delle estensioni e delle correzioni minori.

Digitized by Google

CAPO IV.

L'etere.

Egli è molto frequentemente, ma affatto erroneamente, presunto che la concezione di un etere, il quale riempia tutto lo spazio, abbia avuto origine da Huygens, il quale fu il primo a proporre seriamente, ed a sforzarsi di sviluppare, una teoria ondulatoria della luce. Egli è stato altresì il primo a porgere un'esposizione corretta della natura generale dell'elasticità di un mezzo tal quale è richiesto per la propagazione di ondulazioni regolari; ma la nozione dell'esistenza di simile mezzo è pervenuta a noi dal primissimo periodo delle speculazioni fisiche dei Greci, e queste erano con molta probabilità derivate in gran copia da quelle altre molto più antiche degli Ariani, le quali soltanto recentemente son divenute accessibili ai moderni studiosi d'Europa. Queste primitive idee possono difficilmente esser state fondate su qualche cosa di più definito di quanto fosse una speculazione puramente ipotetica; ma ciò non ostante egli è interessante notare che esse involgevano, come una conseguenza fondamentale, la struttura *discreta* (1) od atomica della materia, e quindi la conseguenza ulteriore che la materia non è divisibile senza limite. Queste più antiche idee sulla materia, com'esse furono esposte da Democrito e da Lucrezio, hanno una sorprendentemente stretta rassomiglianza, in verità, con quelle formate sui risultati delle ultimissime ricerche scientifiche. In entrambe, cioè, nell'antica e nella moderna concezione, l'ultima estrema realtà è trasferita dalla materia sensibile ad un mezzo uniforme riempiente tutto lo spazio: tutte le azioni fisiche hanno luogo e si propagano in quello, mentre gli estremi elementi

(1) *Discreta*: voce qui usata nel suo significato etimologico di *suddivisa* all'opposto di *concreta*, cioè condensata in una sola massa.
(*Nota del traduttore*)

Digitized by Google

della materia consistono di vortici o di qualche altra singolarità in questo mezzo che tutto invade, e che si muovono attraverso a quello con una continuità di esistenza, cosicchè esse non possono nè esser create nè distrutte da qualsiasi mezzo concepibile dalle menti nostre. Lucrezio riguardava gli ultimissimi atomi materiali come consistenti di parti che fossero incapaci di separata esistenza, ed è interessante di osservare questo primitivo adombramento di una parte essenziale della più recente teoria atomica.

Gli atomi separati muoventisi nello spazio vuoto, concepiti dai fisici del XVIII secolo, e della più grande parte del XIX, presentavano la più seria difficoltà filosofica di presumere un limite definito ed uniforme della divisibilità della materia, senza fornire qualche base spiegativa per questa presunzione. La bella teoria di Lord Kelvin di atomi materiali consistenti di anelli-vortici di varie forme nell'etere, che da questo punto di vista avrebbe da agire come un fluido idealmente perfetto, o senza attrito, spiegherebbe pienamente l'indivisibilità dell'ultimo atomo, o sub-atomo, come essa è adesso usualmente formolata.

La teoria fu basata sul fatto che, mentre i fluidi in riposo non posseggono rigidità alcuna, delle porzioni di quelli possono diventare rigide coll'essere poste in rapido moto, come è ben illustrato dagli anelli di fumo che qualche fumatore è così abile nel produrre. Essi possono anche essere visibilmente prodotti da semplicissimi metodi meccanici nell'aria, nell'acqua ed in altri fluidi. (1) L'esistenza di anelli prodotti in fluidi materiali, che sono soltanto i soli di cui noi abbiamo conoscenza, è solamente una breve esistenza, poichè essi sono dissipati prestissimo, a cagione dell'interno attrito del fluido. Nel fluido perfetto della fisica matematica, cioè un fluido in cui non esista attrito interno, von Helmholtz ha mostrato che tale anello non potrebbe essere chiamato in esistenza con qualsiasi metodo da noi concepibile, e, se esistente, esso non potrebbe essere distrutto da qualsiasi concepibile metodo.

La teoria di Lord Kelvin degli atomi vortici, tuttavia, sebbene spieghi la materia come una struttura dell'etere, e tenda così a disfarsi della dualità di materia ed etere, non tiene conto veruno di cariche

(1) Durante le esercitazioni di tiro con artiglierie si possono talvolta vedere dei consimili anelli salire a più di cento metri d'altezza senza dissiparsi o deformarsi. Quest'osservazione fu l'origine della fiducia esagerata riposta nell'efficacia dei cannoni contro la grandine. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

elettriche, ed è quindi insufficiente, secondo i lumi delle nostre presenti conoscenze. La teoria più generale degli elettroni nella materia, non esclude però quella di Lord Kelvin.

Si vedrà nei capitoli successivi che lo sviluppo della teoria elettrica ha avuto per molto tempo la tendenza verso il riconoscimento di una distribuzione atomica dell'elettricità; e la teoria degli elettroni, proposta da Lorentz, Voigt, Drude, Larmor ed altri, è che la carica atomica è dell'essenza di ciascuno dei sub-atomi, un'aggregazione dei quali, moventisi l'un l'altro intorno in orbite invariate, formi l'ordinario atomo materiale. Due specie di cariche atomiche, (o « elettroni »), positiva e negativa, devono essere supposte, cosicchè la più moderna teoria elettrica richiama realmente a nuova vita, in una forma nuova, l'ipotesi una volta screditata di distinte elettricità positiva e negativa.

Ora, un sistema di simili elettroni assestati lungo la circonferenza di un circolo, moventisi in giro attorno ad esso entro i limiti di rapidità richiesta per la stabilità, e costretti dall'attrazione di un elettrone di segno opposto, al centro, costituirebbe un anello-vortice nell'etere circostante. D'altra parte, possono immaginarsi atomi-elettroni di forma stabile, che non costituirebbero anelli-vortici, e non appare esservi ragione alcuna per limitare la teoria più generale.

Una teoria atomica della materia, in cui gli atomi sono considerati come particelle separate in uno spazio vuoto, caratterizzato da pura estensione, non può evitare la difficoltà filosofica involta nel figurare un limite definito uniforme alla divisibilità della materia.

Tuttavia, quando quest'astrazione geometrica è sostituita dal contatto dello spazio come entità formante la base dell'universo materiale, la difficoltà anzidetta sparisce. La materia deve allora essere considerata come consistente di parti differenziate di questa entità, e la legittimità dell'antica rappresentazione di tali differenziazioni come rotazioni permanenti, la quale include una concezione atomica della materia, è stata recentemente dimostrata. Noi possiamo, d'altra parte, partire dalla considerazione della natura atomica della materia come un fatto dedotto dall'osservazione e dall'esperimento, e quindi provarci a raffigurare a noi stessi come questi atomi possono essere avvinti insieme per modo di essere capaci delle interazioni (1) che noi osserviamo tra di loro. Noi allora ci troveremo tratti a presumere di un *plenum* o mezzo

(1) interazioni, ossia azioni degli uni sugli altri. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

completamente occupante gli sforzi frapposti, e trasmettente le azioni ed i moti determinati dai nuclei atomici.

Il primo passo verso l'utilizzazione di questo concetto di un continuo (*plenum* nello spazio, nella correlazione o spiegazione, come comunemente si dice, di fenomeni conosciuti, e nella predizione di fenomeni ancora ignoti, consisterà nell'assegnare un conveniente sistema di proprietà a tale mezzo.

Il più diretto metodo di svolgere questo problema è di formolare in primo luogo un sistema di equazioni differenziali esprimenti le proprietà di un tale mezzo in termini della più grande massa possibile di fenomeni conosciuti. Il passo seguente sarà di attestare la validità e la pienezza del sistema, col paragonarlo con ogni fenomeno di cui non sia stato tenuto conto nella sua costituzione, ed introducendo tali estensioni e modificazioni quante possano essere necessarie. Se questo processo può essere continuato sintantochè tutti i fenomeni conosciuti che riguardino l'etere siano inclusi in esso, il sistema risultante di equazioni definirà le proprietà dell'etere altrettanto pienamente quant'è possibile nell'attuale stato delle cognizioni nostre.

Noi possiamo allora provarci ad accrescere la nostra conoscenza mediante lo sviluppo del sistema coll'analisi matematica finchè nuovi fenomeni sono indicati, e architettando metodi sperimentali di sufficiente delicatezza noi tenteremo di porci in grado di determinare se i fenomeni indicati dal nostro sistema di equazioni sono o non sono realmente esistenti. La scoperta di tali fenomeni apporterà ulteriore conferma della sufficienza e giusta proporzione del nostro sistema di equazioni, mentre la confutazione della loro esistenza, se essa può essere effettuata, indicherà un difetto, al quale deve essere portato rimedio col fare le necessarie modificazioni al sistema.

Questo procedere possiede il gran vantaggio di guidare l'opera dello sperimentalista nelle vie più promettenti, e, dov'è possibile, certamente quello ridurrà al minimo la proporzione di ricerche sperimentali senza frutto. Esso è tuttavia molte volte arrestato da difficoltà matematiche che rendono impossibile, allo stato presente delle conoscenze matematiche, di continuare lo sviluppo nella sua forma più generale. Il fisico matematico allora avrà da pensare circa simili presunzioni ipotetiche, le quali possono esser seguite finchè ci conducono a risultati che sono confermati dalle indagini sperimentali, ma che devono essere abbandonate quando esse vengono in conflitto con quelle.

Digitized by Google

La maggior parte dei progressi recenti nello spiegare fenomeni elettrici, ed altri fisici, dal punto di partenza del considerare l'etere come l'ultimissima realtà, e come la base di ambe le cose, elettricità e materia, è stata fatta nella maniera indicata nel precedente paragrafo.

Questo è il metodo analitico.

I gradi primieri furono tuttavia superati con sforzo assai minore, sebbene più lungo. Questa strada più agevole, con metodi sintetici, può essere resa intelligibile al lettore comune, e può essere seguita con facilità dallo studioso il cui bagaglio matematico e fisico è di dimensioni molto modeste, mentre la diretta via analitica è soltanto aperta a coloro ai quali sono famigliari i metodi raffinati e difficili dell'analisi matematica moderna. Il primo passo nel metodo sintetico consisterà nell'assegnare all'etere una serie di proprietà che lo pongano in grado di spiegare i più ovvii fenomeni osservati, ed il passo successivo sarà quello di esaminare i risultati ottenuti coll'ascrivere queste proprietà all'etere e paragonarli cogli altri fenomeni osservati. Se essi sono in armonia, noi allora possiamo usare i risultati delle proprietà assegnate per predire fenomeni nuovi, ed attestare la validità di queste predizioni per mezzo di osservazioni sperimentali. Allorchè, ad un grado qualsiasi di questo procedimento, si osservano discrepanze, le proprietà assegnate avranno da essere modificate in guisa tale che i loro risultati concordino con quelli ottenuti sperimentalmente. Come fu detto al principio di questo capitolo, Huygens fu il primo ad esporre in una forma coerente la natura generale dell'elasticità richiesta per spiegare la trasmissione di ondulazioni regolari, tal quale egli l'ha presupposta per base fisica dei fenomeni luminosi, e sulla quale base egli riuscì a dare una spiegazione dei fenomeni di riflessione e di rifrazione della luce. La teoria dell'elasticità dell'etere fu grandemente estesa e sviluppata da Fresnel, e sebbene questo suo schema lasciasse varie difficoltà non risolte, esso si dimostrò di grande valore come ipotesi ausiliaria sinchè esso non fu rimpiazzato da un altro schema più completo e più soddisfacente.

Il punto più saliente circa l'etere si è che esso non si manifesta in verun modo direttamente ai nostri sensi. Esso non oppone, come la materia, sensibile resistenza ai nostri movimenti, ed è evidente a prima vista che esso dev'essere capace di penetrare all'interno di ogni corpo capace di trasmettere luce ancorchè nel più debole grado. Questo sembrerebbe suggerire che esso deve o essere, od approssimarsi

Digitized by Google

a ciò che i matematici appellano un fluido perfetto, cioè un fluido in cui non vi è attrito. Sorge qui peraltro una difficoltà. Quando il suono, che è trasmesso dalla materia ordinaria, attraversa un corpo solido, le vibrazioni hanno luogo in tutte le direzioni possibili. Quando invece esso è trasmesso attraverso un fluido, sia esso liquido o gaz, le vibrazioni sono intieramente longitudinali, o, in altre parole, le particelle che prendon parte alla trasmissione hanno i loro movimenti limitati ad un moto all'avanti ed all'indietro, parallelo alla direzione in cui il suono sta viaggiando. Soltanto fluidi possono trasmettere vibrazioni di questo genere, la ragione essendo che essi non hanno rigidità, o resistenza allo sdrucciolamento a mo' di lame di forbici (1), vale a dire allo scorrere di una parte del mezzo sovra un'altra. Ora, le vibrazioni nelle direzioni trasversali alla linea di propagazione sono intieramente dovute a questa resistenza allo sdrucciolamento e quindi non possono essere trasmesse dai fluidi. L'elasticità di un fluido è affatto ciò che vien detto elasticità di volume, o resistenza alla compressione in un volume più piccolo. Le vibrazioni in un'onda di luce sono intieramente trasversali, vale a dire, ciascuna particella del mezzo rimane durante tutto il suo moto sempre in un piano perpendicolare alla direzione di trasmissione del raggio di luce. Appariva perciò essere necessario presumere che l'etere, mentre si comportava come un perfetto, o quasi perfetto, fluido per i corpi che si muovevano attraverso a lui con relativa lentezza, si comportava come un solido molto elastico rispetto alle vibrazioni estremamente rapide che costituiscono un raggio di luce; e questa era la strada presa da Fresnel. La non esistenza di vibrazioni longitudinali nella trasmissione della luce rimase senza spiegazione finchè Clerk-Maxwell mostrò che questa era caratteristica delle onde elettromagnetiche, e suggerì la probabilità che le onde luminose fossero semplicemente onde elettromagnetiche aventi lunghezze di onda comprese tra quei limiti entro i quali l'occhio umano è atto a percepirle.

Newton è stato pienamente convinto della necessità di un etere per la spiegazione di tutte le azioni fisiche, ma egli fu distolto dall'accettare la teoria delle onde luminose proposta da Huygens, poichè egli

---

(1) *Shearing* significherebbe alla lettera: *tosatura*, ma il senso dimostra che tal vocabolo è impiegato per denotare l'azione e la reazione delle due lame d'una forbice a molla. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

non poteva trovar modo, secondo questa teoria, di spiegare la precisa definizione che si ottiene nel caso del chiarescuro. Egli si sforzò di superare la difficoltà nella sua teoria corpuscolare, che introdusse corpuscoli moventisi nella direzione della propagazione, i quali corpuscoli egli suppose essere « adattati per la riflessione e la rifrazione ad intervalli uguali » (1) per mezzo di onde eteree. Più tardi, Young e Fresnel dimostrarono che la propagazione rettilineare della luce, con le sue risultanti ombre nettamente definite, era una conseguenza della lunghezza di onde estremamente brevi delle vibrazioni luminose. Questa scoperta dimostrò l'intervento dei corpuscoli essere una complicazione del tutto non necessaria, e si può fortemente dubitare che, se essa fosse avvenuta ai tempi di Newton, questo avrebbe abbandonata la sua ipotesi senza esitazione, come fecero i di lui successori, per la dimostrazione dell'insufficienza di questa teoria. Newton vide la necessità di un etere, ma i di lui seguaci, che aderirono per qualche tempo alla teoria corpuscolare della luce, sembrano aver considerato questa come se rendesse non necessaria la supposizione di un etere che riempia l'intiero spazio occupato dall'universo visibile, ed avente proprietà di un carattere che è stato fin qui affatto sconosciuto. La teoria corpuscolare fu finalmente abbandonata soltanto quando divenne possibile di fare misurazioni comparative della velocità della luce in mezzi di densità variabile. Allora si palesò l'impossibilità di ritenerla ulteriormente, poichè essa richiedeva che la rapidità di trasmissione fosse aumentata colla densità del mezzo, laddove l'esperimento mostrava una diminuzione, come richiesta dalla teoria delle onde.

Io ho di già detto che ogni corpo che sia alquanto trasparente alla luce — e tutte le sostanze conosciute lo sono ad un certo grado — devono essere trapassate dall'etere. L'acqua ed altri fluidi trasmettono la luce, ma non può essere il fluido che agisce come mezzo vibrante poichè i fluidi non hanno rigidità, e sono quindi, come di già fu osservato, inetti a trasmettere vibrazioni trasversali di cui le onde luminose intieramente consistono. Persino nel caso di solidi trasparenti, il solido

(1) Egli è difficile di formarsi un concetto di ciò che Newton intendesse di esprimere con questa oscurissima osservazione, ma essa dimostra il riconoscimento da parte sua della necessità di un etere per la spiegazione dei fenomeni ottici.

Digitized by Google

stesso non può essere il mezzo di trasmissione; perchè la velocità della luce, che è circa di 186.000 miglia (300.000 kilometri) al secondo, è così grande da richiedere un'elasticità nel mezzo immensamente superiore a quella d'ogni solido conosciuto, poichè può esser dimostrato che il quadrato della rapidità di trasmissione è eguale al rapporto della rigidità del mezzo alla sua densità. Dacchè la rapidità di trasmissione dipende dal rapporto della rigidità alla densità del mezzo che trasmette, considerato come un solido elastico, ne segue che l'etere entro differenti sorta di materia dev'essere largamente modificato dalla natura della sostanza; poichè altrimenti, la velocità di trasmissione della luce attraverso le varie sorta di materia, sarebbe indipendente dalla natura della materia, il che, come sovra è stato menzionato, non è punto il caso. Per esempio, la rapidità di un'onda luminosa passante attraverso una lastra di vetro spessa, è solamente i due terzi della rapidità nel libero etere dello spazio. L'etere considerato come un solido elastico deve pertanto o avere accresciuta la sua densità, oppure diminuita la sua rigidità, dalla presenza delle particelle di vetro. Fresnel nella sua teoria dell'etere elastico-solido, presumeva che la densità fosse accresciuta dalla presenza di molecole di materia. Ora non è sufficiente per una teoria della luce lo spiegare la sua trasmissione nell'etere libero ed entro la sostanza di una massa omogenea di materia. Devesi altresì spiegare il passaggio di essa, senza soluzione di continuità, da una sorta di materia ad un'altra o tra la materia e l'etere libero. Per far questo con una teoria sarà necessario che certe condizioni siano soddisfatte alla superficie che separa le due sorta di materia l'una dall'altra, oppure materia da libero etere. Se l'etere vien considerato come un solido elastico, allora le condizioni saranno che lo spostamento delle particelle in qualche data direzione deve essere uguale dall'uno e dall'altro lato del confine, e che le due forze elastiche di restituzione, chiamate in azione da questi spostamenti siano pure uguali da ambo i lati del confine. Ciascuna di queste è determinata da tre condizioni o coordinate, cosicchè simultaneamente sei condizioni devono essere soddisfatte. Ora due di queste sei condizioni richiedono per la loro determinazione l'esistenza di onde longitudinali, le quali, com'è stato dapprima osservato, non esistono nel caso della luce. Questa è un'indicazione del fatto che nessun solido elastico trasmetterebbe vibrazioni trasversali senza quelle longitudinali, cosicchè nessuna teoria elastico-solida dell'etere può essere completa, poichè due delle condizioni richieste sono indeterminate, per

Digitized by Google

modo che allo scopo di determinarle in qualche caso speciale sarà necessario di fare un'aggiunta alla teoria con speciali presupposizioni. La teoria di Fresnel neanche soddisfa le quattro rimanenti condizioni, perchè la presunzione di un cambiamento di densità introduce una discontinuità nella direzione perpendicolare alla superficie limite. Questa teoria geniale soddisfa soltanto a tre delle sei condizioni del limite.

Larmor suggerisce che essa è anche esposta alla filosofica obbiezione se l'etere dev'essere considerato come l'ultimissimo primordiale mezzo che completamente riempie il totale spazio occupato dall'universo visibile; perchè, se la densità dell'etere può essere variata, esso deve essere compressibile. La sua struttura deve perciò essere molecolare, e le molecole devono essere elastiche; cosicchè se noi stiamo per far adesione al nostro piano di presumere che ogni azione tra corpi distanti sia dovuta all'attuale spinta o trazione dei corpi attualmente in contatto con essi, si richiederà un secondo etere per spiegare l'elasticità delle molecole del primo. Questo punto sarà fra breve considerato più a lungo.

Nell'anno 1837 un interessantissimo tentativo è stato fatto da Giorgio Green per giungere ad una teoria generale della riflessione e rifrazione della luce alla superficie comune di due mezzi non cristallizzati. Fu desso un tentativo non riuscito, a cagione del suo aver ristretta l'elasticità a quella di un ordinario corpo elastico; ma a dispetto di ciò, la memoria suscita un interesse molto eccezionale, sia perchè contiene la prima enunciazione definita del principio della conservazione di energia, sia perchè essa appare rappresentare la prima definita realizzazione della possibilità, che era inerente nel sistema dinamico di Lagrange, di dedurre tutti i fenomeni di ogni sistema meccanico libero di forze vischiose, da una singola funzione analitica esprimente la totale energia del sistema in termini della sua configurazione e moto. Green osserva, nell'introduzione alla memoria contenente questo tentativo: « Noi siamo così perfettamente ignoranti del modo di agire l'uno sull'altro, degli elementi dell'etere luminoso che sembrerebbe un metodo più sicuro di prendere qualche principio fisico generale come base del nostro ragionamento, piuttosto che presumere certi modi di azione, i quali, dopo tutto, possono essere largamente differenti dal meccanismo impiegato dalla natura....e che inducano pure ad un processo di calcolo molto più semplice ».

Il principio è poi enunciato nella seguente forma: « In qualsiasi guisa possano gli elementi di un qualche sistema materiale agire l'uno

Digitized by Google

sull'altro, se tutte le forze interne esercitate sono moltiplicate per gli elementi delle loro rispettive direzioni, la somma totale assegnata per qualche porzione della massa sarà sempre il preciso differenziale di qualche funzione ».

Questa funzione è semplicemente ciò che è ora noto come energia potenziale del sistema, e Green qui fa semplicemente un'esposizione in termini matematici, dai quali consegue come un'immediata deduzione che la somma delle energie, cinetica e potenziale, è una quantità costante, che è la forma in cui il principio della conservazione dell'energia è usualmente espresso.

Un paio d'anni dopo il tentativo di Green, James Mac Cullagh, che non era al corrente dell'opera di Green, si propose il problema di determinare la forma di questa funzione per un mezzo continuo, così che essa condurrebbe alle leggi scoperte da Fresnel ed altri sulla propagazione, riflessione e rifrazione della luce, includendo le osservazioni di Brewster e Seebeck sulla polarizzazione della luce per riflessione. Egli aveva dapprima intrapreso a risolvere il problema con metodi puramente geometrici, ed era arrivato a risultati in pieno accordo coi noti fatti dell'osservazione col presumere:

1) che la densità dell'etere è la stessa in tutti i mezzi;

2) che non occorre perdita di energia nella riflessione e rifrazione;

3) e che gli spostamenti nelle onde incidenti e riflesse, addizionati insieme come quantità dirette, o vettori (cioè nello stesso modo che sono addizionate velocità e forze), sono geometricamente equivalenti al limite degli spostamenti nelle onde rifratte, addizionate nello stesso modo.

Sarà conveniente, prima di continuare la nostra considerazione dei contributi portati da Mac Cullagh ad una teoria dell'etere, di contemplare per un momento la natura delle vibrazioni rispettive dei raggi di luce ordinaria e di quelli di luce polarizzata. In generale le vibrazioni costituenti un raggio di luce hanno luogo in tutte le direzioni possibili nel piano dell'onda. Per fissare le idee noi supporremo per un momento che le vibrazioni consistano negli spostamenti di particelle di un solido elastico, come fu supposto da Fresnel. Allora, a cagione della piccolezza della corsa di ciascuna particella, può essere dimostrato che il percorso di ciascuna particella vibrante generalmente sarà in pratica un'elissi con il suo centro alla posizione d'equilibrio della particella. In generale queste elissi sogliono variare di forma

Digitized by Google

e nelle direzioni dei loro assi maggiori. Consideriamo una particella che descriva la più semplice sorta di elisse, un circolo, nel modo il più semplice possibile, cioè con uniforme velocità. Rappresentiamo con P (fig. 1) la posizione di questa particella ad un dato momento. Per il centro, O, del circolo tireremo i due diametri AB e CD, ad angoli retti l'uno coll'altro. Lasciam calare da P due perpendicolari PM e PN sui due diametri AB e CD, intersecandoli rispettivamente nei punti M ed N. Dacchè P muovesi in giro attorno al cerchio partendo da A e passando successivamente per C, B, D e tornando finalmente ad A, si vedrà che M si muoverà lungo il diametro AB da A verso B e poi di nuovo all'indietro, mentre simultaneamente N si muoverà sul diametro CD da O in C e da C attraversando O verso D e finalmente di nuovo ritornerà in O.

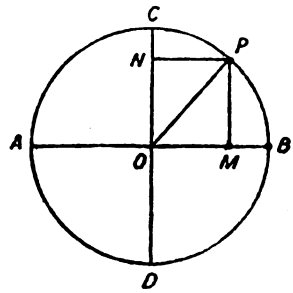


Fig. 1.

Quando P si muove con uniforme velocità nel cerchio i moti di M e di N sono detti essere ciascuno semplici vibrazioni armoniche. Si vedrà che questi punti non si muovono uniformemente lungo i diametri, ma che essi si muovono colla massima loro rapidità quando passano per il centro O, e che la loro velocità gradualmente cala sino allo zero alle estremità delle rispettive loro corse, e quindi, nel senso opposto, si muovono con rapidità crescente sinchè raggiungono il centro e continuano a muoversi con velocità scemante sino alle altre estremità delle corse loro. Il moto di P dicesi allora essere composto dai moti di M e di N, perchè se un foglio di carta è fatto muovere indietro ed avanti col semplice moto armonico del punto M, mentre la punta di una matita in contatto colla carta muove su e giù col semplice moto armonico del punto N, allora il percorso tracciato dalla matita sulla carta sarà il circolo ABCD. Le lunghezze AB e CD, che in questo caso sono eguali, sono dette essere

Digitized by Google

le ampiezze di vibrazione rispettivamente dei punti M e N. Se l'ampiezza AB è aumentata mentre CD è invariato, ed M ed N sono fatti descrivere i semplici moti armonici ad angolo retto l'uno coll'altro come prima, allora il punto P descriverà un'elisse avente AB come suo asse più lungo e CD come suo asse più corto. Il tempo impiegato da P nell'andare lungo una circonferenza completa di variazioni tra A e B, e di nuovo all'indietro, è detto il periodo della vibrazione, ed il numero di questi cerchi che si ripetono in un secondo è detta la periodicità o frequenza della vibrazione.

L'angolo AOP, misurato nella direzione del movimento delle sfere di un orologio, è detto *fase* della vibrazione eseguita dal punto N; così noi vediamo che due semplici moti armonici di uguali ampiezze, e differenti nella fase di 90°, si compongono in un moto uniforme circolare. Se la differenza della fase fosse 180°, oppure un numero dispari multiplo di 180°, il punto P rimarrebbe in riposo. Due sovrapposte corse di onde luminose di uguali ampiezze e che mantengano simile differenza nella fase produrrebbero pertanto oscurità, un fenomeno conosciuto come interferenza.

Ora egli è possibile col lasciare un fascio di luce passare attraverso certi cristalli, o mediante riflessione da cristalli o metalli, di spezzare parzialmente od intieramente le vibrazioni in semplici vibrazioni armoniche ad angoli retti le une colle altre. Quando questo è ottenuto completamente, dicesi che la luce è polarizzata circolarmente, quando cioè le ampiezze delle vibrazioni reciprocamente perpendicolari sono uguali, ed ellitticamente polarizzata quando esse sono disuguali. In quest'ultimo caso tutte le particelle che prendon parte alla trasmissione descrivono elissi di uguali dimensioni e similmente situate. Una luce assolutamente omogenea o monocromatica è polarizzata ellitticamente.

Egli è inoltre possibile, mediante varii metodi semplici, di rimuovere una di coteste serie di vibrazioni da un fascio, e lasciar passare solamente l'altra. Simile fascio vien detto piano polarizzato, poichè tutte le sue vibrazioni sono allora limitate, non soltanto ad un piano ad angolo retto colla direzione di propagazione, ma eziandio ad un piano che passa attraverso questa direzione. Bartholinus osservò, nell'anno 1670, che quando un cristallo di spato di Islanda era messo sopra un oggetto e lo si guardava con ambo gli occhi, potevano sempre vedersi due immagini dell'oggetto e che quando il cristallo veniva girato attorno ad un asse verticale, l'immagine maggiormente rifratta girava attorno

Digitized by Google

all'asse, mentre l'altra rimaneva stazionaria. Il fenomeno è conosciuto come doppia rifrazione, a cagione del fatto che un singolo raggio incidente dà origine a due raggi rifratti. Otto anni di poi Huygens intraprese l'investigazione di questo fenomeno, e trovò che mentre il raggio meno rifrangibile seguiva la legge ordinaria della rifrazione, cioè che il seno dell'angolo d'incidenza mantiene un rapporto costante (conosciuto come indice di rifrazione della sostanza) col seno dell'angolo di rifrazione, questo non era vero per il raggio più rifrangibile, e che per quest'ultimo quel rapporto variava col variare dell'angolo d'incidenza. Egli quindi denominò quest'ultimo il raggio straordinario, ed il primo il raggio ordinario. Non è guari dubbioso che, se Huygens fosse stato consapevole del fatto che i raggi luminosi sono trasmessi per mezzo di vibrazioni trasversali anzichè longitudinali, egli sarebbe stato addotto alla scoperta ed alla spiegazione dei fenomeni generali di polarizzazione. Il di lui modo di vedere l'etere come un perfetto fluido lo condusse a considerare solamente le onde di compressione longitudinale che sono sole trasmesse dai fluidi. Egli riuscì tuttavia a spiegare il fenomeno della doppia rifrazione come proveniente dalla variabile elasticità dell'etere in direzioni differenti in cristalli doppiamente rifrangenti, come lo spato d'Islanda ed il quarzo, supponendo in primo luogo, a fine di spiegare le differenti proprietà dei raggi ordinari e straordinari, che i primi fossero propagati da un'onda avente la fronte di onda sferica, mentre la fronte di onde dei secondi fosse di forma sferoidale (1). Egli effettuò una serie di osservazioni sperimentali del più notevole carattere, tenuto conto degli imperfettissimi mezzi a di lui disposizione, i risultati delle quali confermarono ampiamente le di lui supposizioni. Esse furono di poi confermate ancora da Wollaston nel 1802, coll'aiuto di un apparecchio grandemente perfezionato; ed osservazioni più profonde, comparativamente recenti, fatte da Stokes, Mascart e Glazebrook hanno pienamente stabilito la loro correttezza.

Nell'anno 1810, Malus, che fu impegnato verso quel tempo nell'inda-

(1) Uno sferoide è un elissoide con due dei tre principali suoi assi uguali tra di loro — vale a dire: esso è un elissoide di rivoluzione, ossia un solido formato dalla rivoluzione di un elisse, sia intorno all'asse minore, sia intorno al maggiore. Il primo è denominato sferoide oblato, il secondo sferoide prolato.

Digitized by Google

gare i fenomeni di doppia rifrazione, ebbe casualmente ad osservare, attraverso ad un prisma di quarzo bi-rifrangente, un raggio di sole riflesso da una finestra, ed allora egli avvertì che in certe posizioni del prisma la luce spariva. Malus diede il nome di polarizzazione a questo fenomeno, a cagione che i raggi di luce possedenti questa proprietà apparivano avere qualità differenti in direzioni differenti, oppure, se noi possiamo dire, in differenti *azimut*, le variazioni che rappresentano la polarizzazione avendo luogo in piani perpendicolari alla direzione di propagazione. Newton aveva osservato molti anni prima, circa i raggi doppiamente rifratti, che sono pure raggi polarizzati, che questi raggi sembravano avere dei lati. L'osservazione di Malus diresse l'attenzione di Fresnel e di Arago sul soggetto, ed essi ben presto scoprirono che la luce poteva essere polarizzata per riflessione da un gran numero di sostanze differentissime per certi angoli d'incidenza. Essi trovarono pure che, quando un raggio che è stato polarizzato per riflessione viene trasmesso attraverso ad un cristallo di spato d'Islanda, esso agisce come un raggio ordinario quando l'asse di simmetria del cristallo è parallelo al piano contenente il raggio incidente e quello riflesso, ossia al piano di riflessione. Se, d'altra parte, l'asse del cristallo fosse perpendicolare al piano di riflessione, il raggio avrebbe le proprietà di un raggio straordinario.

Prima di queste indagini Fresnel aveva supposto con Huygens che le onde luminose fossero del tipo di compressione longitudinale trasmessa dai fluidi, e fu l'impossibilità di spiegare i fenomeni di polarizzazione che lo indusse a tentare la supposizione che le onde fossero trasversali. Egli trovò i risultati di questa ipotesi in accordo coi fatti da questi fu tratto allo sviluppo della sua teoria elastico-solida dell'etere. Un solido elastico era la sola specie di corpo conosciuto che trasmetterebbe le vibrazioni trasversali, e sebbene Fresnel non riescisse a spiegare la sparizione delle onde longitudinali, fu dimostrato da Green, nella di lui memoria del 1837 dianzi accennata, che queste onde sarebbero eliminate se il mezzo solido-elastico fosse supposto essere praticamente incompressibile. Fresnel e Arago trovarono che, quando la luce è polarizzata per successive riflessioni da una serie di lastre di vetro, con il raggio incidente che cada su ciascuna lastra successivamente coll'angolo polarizzante, vi è pochissima perdita di luce nella seconda e susseguenti riflessioni, se le successive riflessioni sono nello stesso piano. Se la seconda riflessione è in un piano perpendicolare al primo, la luce

Digitized by Google

tuttavia essendo incidente su entrambe le lastre secondo l'angolo polarizzante, allora ha luogo una quasi completa estinzione.

Il piano di polarizzazione di un raggio polarizzato è definito come il piano tra il quale intercede la stessa relazione al raggio come intercederebbe tra quello ed il piano di riflessione se la polarizzazione fosse dovuta a riflessione: cosicchè nel caso di polarizzazione per riflessione, il piano di polarizzazione è semplicemente il piano di riflessione. Sir David Brewster mostrò che, in corpi singolarmente rifrangenti, l'angolo polarizzante era tale che i raggi riflessi e quelli rifratti erano ad angoli retti l'uno coll'altro, e che in questo caso il raggio rifratto era polarizzato in un piano perpendicolare al piano di riflessione, e quindi perpendicolare al piano di polarizzazione del raggio riflesso. Secondo la teoria elastico-solida di Fresnel gli spostamenti delle particelle dell'etere devono aver luogo in un piano ad angoli retti col piano di polarizzazione, mentre la teoria di Mac Cullagh conduce alla conclusione che gli spostamenti hanno luogo nel piano di polarizzazione. Nella di lui memoria del 1839 Mac Cullagh intraprese direttamente a risolvere il problema di determinare l'espressione dell'energia potenziale da cui devono dipendere le vibrazioni rettilinee trasversali propagate attraverso all'etere. Egli osservò in primo luogo che vibrazioni di questo carattere non involvono alcuna compressione del mezzo. Quindi, nel caso di un'onda piano polarizzata nell'etere libero, la quale onda è la sorta di onde luminose la più semplice possibile, e quindi la più adatta per l'accertamento della natura dell'elasticità richiesta, le particelle del mezzo andranno tutte movendosi indietro e innanzi in direzioni parallele. Lo sforzo, ad ogni punto del mezzo, dovuto agli spostamenti delle particelle vicine, sarà quindi della sorta che sarebbe prodotta da una rotazione, o torsione (1), del più piccolo elemento di volume circondante quel punto, attorno ad un asse perpendicolare alla direzione degli spostamenti, e nel piano del fronte di onda.

L'ammontare di questa torsione sarà proporzionale alla ragione di variazione di spostamento nella direzione di propagazione. L'elasticità del mezzo deve quindi essere di tal sorta che le deformazioni, o le ten-

(1) Ogni moto in giro intorno ad un asse è detto: rotazione, sia che il girare sia continuo, sia che sia limitato ad un angolo finito. Io denominerò il primo genere di rotazione: *rivoluzione*, ed il secondo: *torsione*.

Digitized by Google

sioni, dovute a questa torsione, daranno origine a forze ristauratrici, o sforzi, nel mezzo, tendenti a produrre una contro-torsione che riporterà indietro le particelle alle posizioni loro d'equilibrio dopo il passaggio della perturbazione produttrice dell'onda. Questa elasticità rotativa, o di torsione, dell'etere è di un'importanza così capitale nella spiegazione dei fenomeni elettro-magnetici che sembra opportuno di illustrare l'effetto (produttore della torsione) degli spostamenti per mezzo di un diagramma.

Rappresenti la retta AB (fig.2) la linea di propagazione di un'onda di luce plano-polarizzata nell'etere libero, e rappresenti il piano della carta quello di polarizzazione. Ciascuna particella del mezzo originalmente situata contro alla linea AB andrà allora seguendo semplici vibrazioni

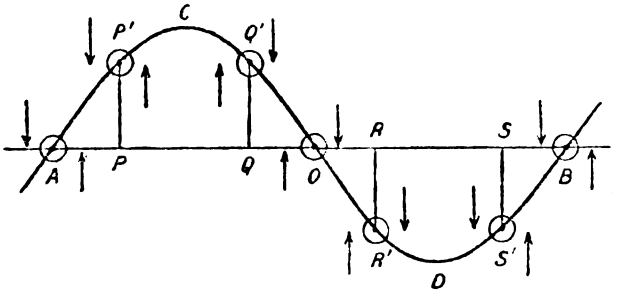


Fig. 2.

armoniche nel piano della carta, e ad angoli retti colla linea AB. A fine di determinare le posizioni simultanee delle particelle che, in assenza d'ogni perturbazione, giacciono lungo la linea AB, noi dobbiamo descrivere una curva formata dalla componente di un semplice moto armonico in direzione ad angolo retto con AB, con un moto uniforme lungo AB, rappresentante la velocità uniforme della luce. Questo proviene dal fatto che tutte queste particelle stanno eseguendo esattamente vibrazioni simili; ma, come l'onda viaggia lungo AB nella direzione della propagazione, ciascuna successiva particella parte dalla sua posizione di equilibrio su AB quando l'onda la raggiunge e quindi immediatamente dopo di quella che le sta dietro. Le posizioni simultanee delle particelle originalmente giacenti lungo AB, quando sono in equilibrio, saranno quindi situate sulla stessa curva che sarebbe tracciata dal moto di una singola particella relativa alla carta, supponendo quest'ul-

Digitized by Google

tima essere mossa nella direzione BA, nel senso opposto alla direzione della propagazione, colla velocità della luce. La curva ACODB è una curva di questo genere, che, per causa delle sue proprietà matematiche, è conosciuta come una curva sinusoidale. Curve sinusoidali di varie foggie possono essere semplicemente ottenute col tagliare obliquamente, ad un angolo desiderato, l'estremità di un cilindro di legno, quindi avviluppando un foglio di carta attorno al cilindro regolarmente, sì che i suoi margini si incontrino perfettamente, e tagliando allora la carta con un coltello ben affilato secondo l'elisse formata dall'orlo del taglio obliquo all'estremità del cilindro. Se la carta è allora distesa di nuovo, il suo margine tagliato formerà una sinusoide.

I punti A, P, Q, O, R, S, B, originalmente nelle posizioni loro di equilibrio, all'istante del passaggio della perturbazione rappresentata nel diagramma, occuperanno le posizioni A, P′, Q′, O, R′, S′, B, rispettivamente. I piccoli circoli tracciati con questi punti quali centri sono per indicare le sezioni di piccoli elementi di volume, del mezzo che inchiude questi punti.

Consideriamo adesso il moto del mezzo nella prossimità di uno di questi punti, per es. il punto P′. Le porzioni del mezzo vicinissime a P′, e a destra di quello, saranno mosse in alto più rapidamente che P′, e quindi tenderanno a strascinare il volume elemento attorno P′ in giro in direzione contraria a quella delle sfere d'un orologio, com'è indicato dalla freccia a destra rivolta all'insù. Le particelle del mezzo aderenti a P′, e sulla sua sinistra, saranno mosse all'insù più lentamente di P′, e quindi di nuovo tenderanno a strascinare il volume elemento attorno in direzione contraria all'orologio, com'è indicato dalla freccia rivolta all'ingiù a sinistra di P′.

Le direzioni di torsione degli altri elementi volume, scelti ad esempio, sono indicate in simile maniera da rispettive freccie. Dacchè le torsioni sono tutte sul piano della carta, l'asse di torsione è perpendicolare a detto piano. L'asse è quindi, come fu prima stabilito, perpendicolare alla direzione degli spostamenti, e nel piano del fronte di onda, poichè il piano del fronte di onda è perpendicolare alla direzione di propagazione.

Mac Cullagh espresse allora l'energia potenziale del mezzo in termini di queste torsioni elementari, presumendo che l'energia del mezzo sia intieramente di carattere rotativo. Egli presuppone anche essere la densità dell'etere identica in tutti i corpi, ma essere variabile la sua rigidità. Egli ottenne allora le sue equazioni del moto, le quali egli trovò

Digitized by Google

dare una coerente rappresentazione di tutte le leggi conosciute di propagazione, riflessione, e rifrazione della luce. L'espressione dell'energia come una funzione quadrata delle torsioni elementari, che fu la forma presunta da Mac Cullagh, non era la forma più generale che fosse possibile, ma com'essa fu trovata a condurre ad equazioni che davano risultati in armonia con tutti i fatti osservati, non era necessario di generalizzarla maggiormente. Dalle equazioni ottenute deriva che, sia il mezzo supposto comprimibile oppure no, nessuna compressione del mezzo è involta nel moto.

Clerk-Maxwell osserva, nel di lui articolo «Etere» nella nona edizione dell'*Enciclopedia Britannica*: « È spesse volte asserito che il mero fatto che un mezzo è elastico o comprimibile è una prova che il mezzo non è continuo, ma è composto di parti separate aventi *spazi vuoti tra* di esso. Ma non vi è nulla di *incoerente coll'esperienza* nel supporre essere l'elasticità e la comprimibilità, proprietà di ciascuna parte, quantunque piccola, in cui il mezzo possa concepirsi essere diviso, nel qual caso il mezzo sarebbe rigorosamente continuo ».

Il corsivo è posto dall'autore. Il grande ostacolo alla formazione di qualche definito concetto delle proprietà di una sostanza continua è che l'intiera esperienza dei nostri sensi contempla una sostanza di una natura molecolare. Come osserva Maxwell, noi possiamo eliminare la necessità di spazi vuoti *tramezzo* alle più piccole porzioni di un etere comprimibile, col presumere che tali porzioni minime siano loro stesse comprimibili; ma mi appare che noi siamo allora tratti a conchiudere che simili spazi vuoti debbano in tal caso esistere *entro* quelle porzioni minime, e questo sembra involvere la necessità di un qualche genere di struttura, statica o cinetica, nell'etere stesso, e che pertanto noi non siamo ancora discesi coll'ultimissima fisica realtà di una continua uniformità, o di un'uniforme continuità, qualunque sia l'espressione preferita. Se fossero trovati dei fenomeni fisici tali da richiedere la comprimibilità nell'etere, questo potrebbe essere spiegato col presumere l'esistenza di certe sorta di vortici di etere, o polle turbinanti. Come prima si è detto, non vi sono mezzi fisici dei quali noi possiamo formarci qualche concezione che potrebbe far nascere simili vortici in un fluido perfetto senza attrito, come dovrebbe essere l'etere, secondo la teoria degli elettroni nella materia. La complessità dei fenomeni osservati appare suggerire qualche ulteriore complessità nell'etere. Non sembra esservi, allo stato presente delle cognizioni nostre, delle indicazioni di

Digitized by Google

una necessità di fare provvigione nelle nostre rappresentazioni meccaniche, o modelli, di uno schema elettro-magnetico di fenomeni fisici, per la comprimibilità dell'etere; ma questo non ci pone in grado di dispensarci dalla supposizione di un qualche genere di struttura dell'etere, o statica o cinetica, più probabilmente quest'ultima, per formare i necessari anelli di connessione tra la materia ordinaria e l'ultimo definitivo *continuum* o *plenum*. La teoria dell'etere di Mac Cullagh è essenzialmente una teoria più semplice che il fluido elastico solido di Fresnel, in quanto che le sole proprietà a quello assegnate sono tali appunto quali sono richieste dalla spiegazione dei fenomeni osservati. Questo è d'altra parte, più difficile da concepire, poichè le sue proprietà non hanno rassomiglianza con quelle d'ogni sostanza conosciuta. Sir Georges Stokes ha osservato che noi possiamo trovare una materiale analogia coll'etere, fluido elastico-solido, nella pece, una sostanza che è altamente elastica, ed esibisce tutte le proprietà di un solido rispetto ai moti rapidi; mentre rispetto ai moti lenti essa si comporta come un fluido, poichè una lastra della più dura pece concederà ad una palla di piombo giacente sulla sua superficie di affondare attraverso di essa, simile, in ciò, ad un un liquido vischioso, vale a dire, a fluido in cui vi è resistenza d'attrito allo scorrere. Quest'illustrazione delle proprietà di un semplice continuo *plenum*, mediante il paragone con una sostanza materiale, complessa com'è la pece, non può essere ad ogni modo considerata come spiegativa, ed è soltanto riferita per il suo interesse storico circa il primo immaturo tentativo di formarsi una concezione delle proprietà dell'etere. La teoria elettronica della struttura della materia spiega soddisfacentemente la di lei mobilità attraverso all'etere. Quest'assenza di ogni materiale analogia coll'etere di Mac Cullagh appare essere stata il principale ostacolo alla sua accettazione generale, ed essa sembra essere stata praticamente trascurata dai fisici sintantochè G. F. Fitzgerald osservò nel 1880 che le equazioni di Mac Cullagh erano identiche a quelle ottenute da Clerk-Maxwell per la propagazione di una perturbazione elettro-magnetica della luce. Se non fosse stato per la difficoltà trovata nel formare un concetto di simile etere senza l'assistenza di un'analogia materiale difficilmente esso avrebbe mancato di rimpiazzare quello di Fresnel, poichè esso conduceva a coerenti rappresentazioni della doppia rifrazione e di altri fenomeni ottici, che possono soltanto essere interpretati, nella teoria di Fresnel, per mezzo di supposizioni che si escludono l'un

Digitized by Google

l'altra, a vicenda. La sola proprietà assegnata all'etere di Mac Cullagh è la resistenza alla torsione di ogni piccolo elemento del mezzo, ma questo è inconcepibile senza l'esistenza di qualche genere di struttura e senza assegnare al mezzo, sotto l'influenza delle onde luminose od altre, qualche alterazione nella distribuzione di torsione attraverso l'intera area di perturbazione. Questa distribuzione sarà pienamente determinata da una specificazione a ciascun istante, ed a ciascun punto del mezzo, dell'ammontare di questa torsione e della direzione dell'asse attorno al quale ciascuna torsione elementare ha luogo. Vale a dire, ciascuna cosa è pienamente specificata in termini di una singola diretta quantità, o vettore, come tale quantità è chiamata, che ad un momento qualsiasi ha un definito valore ad ogni punto del mezzo. Drude denomina questa quantità, *vettore di luce*. Quando la teoria di Mac Cullagh è applicata alla rappresentazione di fenomeni, come la riflessione e la rifrazione, involventi il passaggio di un raggio di luce attraverso due mezzi, oppure tra un mezzo materiale e l'etere libero, si trova che quando la densità dell'etere è presunta rimanere costante, solamente quattro sovra sei condizioni limiti sono indipendenti, per modo che soltanto quattro condizioni hanno da essere soddisfatte, e questo è esattamente il numero richiesto per i problemi di riflessione e di rifrazione tra mezzi cristallini.

Mac Cullagh era pienamente compenetrato dalla desiderabilità di esprimere le proprietà dell'etere, com'egli le ha determinate colle sue equazioni, nella forma di ciò che può essere denominato un modello meccanico, ma egli ci dice che: « Un ragguaglio meccanico dei fenomeni rimase un *desideratum* che nessun mio sforzo ha potuto fornire ».

Lord Kelvin, nel 1889, ha fatto vedere la possibilità di immaginare un modello, formato di materia ordinaria, che è capace di rappresentare, sebbene in una forma molto rozza, un mezzo avente la proprietà di torsione elasticamente resistente in ogni direzione, e Larmor ha mostrato come questo può essere applicato per render manifesto che l'etere di Mac Cullagh è un concetto dinamico legittimo. Prima di descrivere questo, tuttavia, io devo premunire i miei lettori contro la supposizione che tale illustrazione possa essere qualche cosa di più che un aiuto nel formare un quadro mentale dello schema delle relazioni matematiche involte. Non è inteso di suggerire che la resistenza dell'etere alla torsione possa esser dovuta alla presenza in esso di tali strutture. La

Digitized by Google

veduta che io sto mettendo innanzi, e che appare di tutta probabilità, si è che le molecole di materia siano strutture nell'etere, e formate dall'etere. L'etere, checchè esso possa essere, più che certissimamente non è una struttura fabbricata colla materia.

Supponete il mezzo essere composto di un'aggregazione di sfere senza attrito ciascuna tempestata, sulla sua superficie, simmetricamente con un piccolo numero (p. es., quattro) di corte borchie senza attrito. Questo formerà una rozza, ma concepibile, rappresentazione di un fluido perfetto. Queste borchie si manterranno allora continuamente nel moto del mezzo, senza l'aiuto di viscosità, ed esse pure costringeranno ciascuna sfera a prender parte nella torsione della porzione di mezzo che la contiene (1). Allo scopo di ottenere la proprietà di resistenza elastica alla torsione, Lord Kelvin immaginò che ciascuna sfera contenesse tre trottole girostatiche, consistenti come le usuali di un disco pesante roteante attorno ad un asse attraversante il centro

---

(1) Ho tradotto letteralmente per *borchia* il vocabolo *spike* (*a large nail*). Ma dal contesto del discorso io mi sento addotto a concepire quella sfera come guernita piuttosto di grosse sporgenze tonde, le quali, a mio avviso, per essere senza attrito, avrebbero ad essere mobili in qualunque direzione tangenziale alla loro superficie. Quindi il modello che io immagino sarebbe quello di una sfera avente sulla sua superficie quattro aperture circolari, uguali e regolarmente distribuite. Da queste aperture sporgerebbero quattro sfere minori, che avrebbero quindi, ciascuna nella sua porzione esterna, l'apparenza perfetta di una borchia, ma che poggierebbero, all'interno della sfera maggiore, ciascuna sovra una corona di levigatissime pallottoline, mobilissime entro un canale circolare, longitudinalmente fesso per tutto il giro; per modo che le sfere minori non avrebbero altri punti di contatto, senonchè quelli colle pallottoline, che fornirebbero loro soltanto degli appoggi dotati di mobilità estrema; epperò le sfere sarebbero pure mobilissime attorno ai rispettivi loro centri in tutti i sensi, sebbene i centri formino un sistema fisso colla sfera maggiore. Una consimile disposizione, è praticamente in uso per sostegno dei piedi di un mobile pesante; ed è quella che, pur lasciando libertà di movimento in tutti i sensi, diminuisce l'attrito al massimo grado possibile.

Tuttavia il modello proposto altro non è che un allenamento dell'intelletto per giungere a formarsi una rappresentazione mentale concreta di un concetto reale, ma puramente astratto, e perciò meno facilmente afferrabile. Diciamo « astratto », poichè, come sopra è dichiarato dell'A., « l'etere non è una struttura fabbricata colla materia ». Pervenuti a tal punto, assai più perfetto ci si manifesta di poi il modello di Lord Kelvin, che s'approssima in sommo grado al concetto fisico-matematico ideale. (*Nota del traduttore*)

Digitized by Google

del disco e perpendicolare al suo piano, quest'asse essendo imperniato entro un anello in tal guisa da formare un diametro dell'anello. Se tre anelli consimili sono imperniati entro ciascuna sfera in modo tale che gli assi attorno ai quali i detti anelli posssono girare sono in tre direzioni, ad angoli retti l'una rispetto all'altra, mentre l'asse di ciascun anello è disposto ad angoli retti coll'asse attorno al quale il disco gira, questo risultato sarà ottenuto, e la resistenza alla torsione sarà indipendente dalla sua direzione. L'elasticità sarà ciò che è denominato *isotropica*. Questo risultato sarà soltanto ritenuto buono sempre quando gli spostamenti totali degli assi delle trottole girostatiche siano minimi, ma questo è tutto ciò che si richiede per conferire ad un mezzo l'elasticità rotativa necessaria per renderlo capace di trasmettere vibrazioni di piccola ampiezza, corrispondenti alle vibrazioni luminose od altre elettromagnetiche trasmesse dall'etere. Noi vedremo che non vi sarà torsione nell'etere eccetto che in presenza di forza elettrica. Noi troveremo pure necessario, a cagione dell'alta rapidità di propagazione della luce e di altre onde elettro-magnetiche, di supporre un alto valore per l'inerzia del mezzo, e quindi un'elasticità estremamente alta, cosicchè le più forti forze elettriche daranno soltanto origine a leggerissime torsioni nell'etere. L'osservato alto valore dell'inerzia dell'etere di spazio, a cui ci siamo riferiti nel Capo II, mostra che questa supposizione è legittima. Queste condizioni possono essere rappresentate nel nostro modello col dare un alto momento della *quantità di moto* (1) alle trottole girostatiche, coll'impiegare dischi pesanti giranti ad altissima velocità. Il modello può quindi esser fatto per rappresentare un campo di forza elettrica costante, che dura senza sensibile diminuzione, per qualche assegnata lunghezza di tempo, sebbene non per sempre.

Secondo la veduta della natura della materia qui suggerita, l'etere stesso non deve meramente approssimarsi ad un fluido idealmente perfetto senza attrito, ma deve esserlo in realtà. Poichè se vi fosse in esso traccia alcuna di attrito, e data che la nostra teoria della costituzione della materia sia la vera, l'intiero universo fisico finirebbe per dissolversi nell'etere senza lasciarsi dietro neppure una traccia.

(1) Il *momento* della quantità di moto di una massa che gira attorno un asse è ottenuto col moltiplicare la quantità di moto di ciascuna delle sue particelle per la distanza della particella dall'asse, ed addizionando i prodotti. Nel caso di una massa continua questo è, naturalmente, effettuato coll'integrare il prodotto per ogni punto della massa.

Digitized by Google

CAPO V.

L'etere quale armatura per i moti assoluti.

L'illustrazione data da Lord Kelvin dell'elasticità rotativa giroscopica desta ciò che può sembrare una difficoltà filosofica, in quanto che le porzioni elementari di un tal mezzo, come esso vien rappresentato nel modello di Lord Kelvin, appariscono offrire una resistenza alle torsioni assolute, e non puramente alle relative, ed apparentemente quindi indicano direzioni assolute nello spazio. Questa non è ad ogni modo la prima volta che ci si affaccia tale difficoltà in connessione coi moti di rotazione, ma nel presente esempio essa ci si manifesta in una forma eccezionalmente fondamentale. Considerate, ad esempio, tali problemi come la forma assunta dalla superficie di un liquido in una secchia girante; la figura della terra; la resistenza di un corpo rotante come una trottola, e della terra istessa, ad ogni spostamento dell'asse suo di rotazione; la resistenza di un pendolo oscillante allo spostamento del piano di oscillazione. Un pendolo liberamente sospeso di considerevole lunghezza e massa fu impiegato da Foucault come un mezzo di dimostrazione della reale, o assoluta, rotazione della terra, i movimenti di questa essendo tali che essi potevano essere spiegati semplicissimamente, e, sulla base dei principî accettati di meccanica, potevano essere spiegati solamente colla supposizione che il pendolo tendesse a conservare l'aspetto assoluto nello spazio del suo piano d'oscillazione. Newton riguardò i fenomeni di tal sorta quali indicanti definitivamente rotazioni assolute, e quindi direzioni assolute nello spazio, ed egli ha espresso la sua opinione per tal punto in termini che escludono ogni equivoco.

Tra i più abili critici dell'attitudine di Newton su questo soggetto io posso far menzione di E. Mach e di H. Poincaré. Entrambi questi

Digitized by Google

fisici hanno discussa la quistione molto minutamente, il primo nel di lui trattato sulla *Scienza della Meccanica*, e l'ultimo nel libro: *La Science et l'Hypothèse*, ed entrambi obbiettano, a ciò che essi concepiscono essere l'attitudine di Newton, che egli tenta di spiegare relazioni tra fenomeni coll'aiuto delle nozioni dell'assoluta direzione e della rotazione assoluta, le quali implicano la nozione dello spazio assoluto, che è fisicamente inconcepibile dalla umana mente costituita in modo relativo. Quest'obbiezione apparirebbe essere ben fondata, se il senso annesso, nella mente di Newton, all'espressione *spazio assoluto*, fosse identico a quello attribuito ad essa dai di lui critici, e che essi hanno definito con chiarezza perfetta. Lo spazio per essi è l'astrazione geometrica dell'estensione pura, ed in questo senso *spazio assoluto* è una espressione che non sembra acconcia ad essere rappresentata nella forma di un concetto mentale definito. La difficoltà appare a me essere molto più dello stesso ordine di una rappresentazione mentale di azione diretta ad una distanza, ma di un ordine molto più basso per difficoltà che quella involta nella questione delle relazioni tra intelligenza e materia. E se pur l'obbiezione fosse ben fondata, essa non può essere accettata quale garanzia della conclusione che non vi possono essere fenomeni fisici indicatori del moto assoluto e della direzione assoluta nello spazio, poichè questo implicherebbe la supposizione che le nostre menti hanno da esser prese come misure delle possibilità dell'universo fisico. D'altra parte, il rimpiazzamento, se possibile, di tali indeterminate e difficili idee con quelle più semplici del moto relativo e della direzione relativa nello spazio è in ogni modo preferibile e costituisce un notevole progresso nella teoria fisica. Altri scritti di Newton dimostrano tuttavia, io credo, che questa non era la di lui concezione dello spazio, ma che egli lo riguardava come occupato da una realtà fisica, l'etere, e che questa realtà fisica, formava l'armatura richiesta per riferenza, sebbene forse solo debolmente sbozzata, nella di lui mentale consapevolezza. Essa può ben anche essere stata troppo leggermente abbozzata per rendere a lui possibile di cristallizzare il concetto in una forma tale che avrebbe potuto produrre la convinzione nelle menti dei suoi contemporanei.

Poincaré adduce in esempio il caso di un pianeta, tale come la terra, così avvolto entro nuvole che nessun corpo esterno sia percettibile, ed argomenta che in tal caso noi non potremmo arguire con certezza che il pianeta sia in rotazione, ma soltanto che una supposizione simile prov-

Digitized by Google

vederebbe la base più semplice possibile per un sistema di meccanica. Nella di lui opera posteriore, *La Valeur de la Science*, egli attenua la di lui osservazione coll'ammettere che la supposizione suddetta, oltre alla semplificazione del sistema di meccanica, renderebbe possibile di stabilire una correlazione tra i fenomeni fisici di tanto più ampia, che essa potrebbe essere considerata come dello stesso ordine di probabilità della realtà del mondo esterno. In altre parole, la di lui conclusione si è che la certezza pratica, sebbene non teorica, della rotazione sarebbe raggiungibile dagli abitanti di un mondo consimile. Io non saprei distinguere questo da un abbandono della propria posizione, perchè nessun essere umano pensante si sforzerebbe di mantenere una proposizione così insostenibile come la possibilità di raggiungere la certezza teorica in qualunque conclusione derivata dall'esperienza. Nello stesso volume Poincaré si abbandona ad un patetico lamentare circa la direzione delle recenti aggiunte alla nostra esperienza fisica verso il cambiamento di fronte dei principî fondamentali di fisica dalla bene esplorata e dalla ben testificata fondazione della materia ponderabile alla comparativamente sconosciuta e non provata fondazione dell'etere. Sebbene egli non faccia alcuna riferenza a questo nella di lui qualificazione delle sue contestazioni originali circa ai moti di rotazione, io non posso evitare la conclusione che tale qualificazione è dovuta, coscientemente o no, alla di lui considerazione di quel cambiamento e delle sue conseguenze.

L'argomento di Mach è interessante ed istruttivo. Egli osserva che, quando noi stabiliamo che « un corpo conserva inalterata la sua direzione e la sua velocità *nello spazio*, la nostra asserzione è niente di più o di meno che una riferenza abbreviata *all'intiero universo* ». In altro postò egli osserva che: « Quando noi riflettiamo che il fattore-tempo, il quale entra nell'accelerazione, è niente di più che una quantità la quale è la misura delle distanze, o degli angoli di rotazione, dei corpi dell'universo, noi vediamo che anche nel più semplice caso, nel quale apparentemente noi trattiamo dell'azione reciproca di sole *due* masse, il trascurare il resto del mondo è impossibile. La natura non comincia con elementi, mentre noi siamo costretti a far così. È certamente buona ventura per noi, che noi possiamo, di tanto in tanto, distogliere i nostri occhi dall'ultra-potente unità del Tutto, e conceder loro di riposare sovra singoli particolari. Ma noi non dovremmo omettere alla fine di completare e di correggere le nostre vedute mediante una radicale e

Digitized by Google

perfetta considerazione delle cose che frattanto non avevamo contemplate ».

Io devo dare ancora un estratto di Mach, a cagione della sua diretta importanza circa al nostro presente punto di vista. Egli osserva la possibilità che, nella considerazione del moto di un corpo scelto, altri corpi isolati potrebbero trovarsi che abbiano solo una parte collaterale nella determinazione del moto del corpo scelto, e che questo moto potrebbe essere determinato da un *mezzo* in cui questo corpo esiste. « In tal caso noi avremmo da sostituire questo mezzo allo spazio assoluto di Newton. *Newton certamente non coltivò quest'idea.* Inoltre si può facilmente dimostrare che l'atmosfera non è questo mezzo che determina un moto ».

Il corsivo nella penultima frase è posto da me. Io considero questo ragguaglio di Mach essere erroneo, il che deriva con tutta probabilità dall'aver egli confinata la sua attenzione ai *Principia*, i quali soltanto contengono una breve e casuale riferenza alla necessità di un etere. La convinzione di Newton della necessità di un etere per la spiegazione dei fenomeni di gravitazione è definitivamente stabilita nelle di lui lettere a Bentley, e le di lui ricordate esposizioni circa la necessità ottica di tale mezzo furono raccolte da Thomas Young, e stampate nella sua memoria sulla « Teoria della luce e dei colori » che fu comunicata alla Società Reale nel 1801. Mach continua: « Noi dovremmo quindi avere da raffigurarci qualche altro mezzo, che riempia tutto lo spazio, riguardo alla di cui costituzione ed alle sue relazioni cinetiche coi corpi collocati in quello noi non abbiamo presentemente nessuna conoscenza adeguata. In se stesso simile stato di cose non apparterrebbe alle impossibilità. È noto dalle più recenti indagini idrodinamiche che un corpo rigido prova resistenza in un fluido senza attrito soltanto quando *varia* la di lui velocità. Veramente, questo risultato è teoricamente derivato dalla nozione d'inerzia; ma esso potrebbe, al contrario, essere riguardato come il fatto primitivo dal quale dobbiamo partire. Sebbene praticamente, e presentemente, nulla sia per essere compiuto con questa concezione, noi potremmo ancora sperare di apprendere di più nel futuro intorno a questo mezzo ipotetico; e dal punto di vista della scienza sarebbe per ogni rispetto un acquisto più valevole che la disperata idea dello spazio assoluto ».

La legittimità della contestazione di Newton com'essa si presenta è molto abilmente sostenuta da B. Russell, nei suoi *Principî di Mate-*

Digitized by Google

matica, un'opera che io ho soltanto veduta dacchè avevo scritto la prima parte di questo capitolo, ed io son lieto di aver l'opportunità di delineare quest'argomento, che è dei più instruttivi ed interessanti. Questo ci aiuterà pure nel formulare più chiaramente, più oltre, la spiegazione data nel Capo III, che nell'applicazione della matematica ai fenomeni fisici è solamente possibile di trattare direttamente modelli ideali o rappresentazioni, e che la validità dei risultati ottenuti può soltanto essere accertata dal loro paragone coi dati derivati dall'osservazione attuale.

Il meccanismo della matematica pura istessa c'entra solo per relazioni di forma, ed è essenzialmente uno sviluppo di pura logica. La similarità delle relazioni tra le serie di punti sopra una linea e le serie di istanti in un intervallo di tempo rende atti simili processi matematici ad essere impiegati nel trattare relazioni di spazio altrettanto come relazioni di tempo, come vien osservato di già nel Capo III; e la matematica pura per se stessa è interessata soltanto nelle relazioni, e non nella quistione se le unità, di cui si tratta, siano punti o istanti.

L'opera di Russell è dedicata a mostrare che la pura matematica rigidamente interpretata in questo senso, ed includente l'aritmetica e l'analisi, i vari sistemi di geometria, e quanto vien detto dinamica razionale, può essere tutta rigorosamente dedotta da un piccolissimo numero di principii logici fondamentali. La teoria dell'aritmetica giunse la prima in questo modo, ed è dimostrato che il recente sviluppo della teoria aritmetica rende atte tutte le proposizioni degli altri rami della matematica pura ad essere derivate da sole considerazioni aritmetiche. Si deve ricordare che la matematica pura in questo stretto senso non s'interessa per verun modo della realtà, od altrimenti, degli assiomi impiegati. Questa è una quistione di matematica applicata.

Per esempio, lo sviluppo puramente matematico della geometria di Euclide non ha rapporto in se stesso colla quistione se gli assiomi di Euclide si applicano al nostro spazio reale, la *giurisdizione* di quello sviluppo essendo rigidamente limitata al dedurre le conseguenze degli assiomi ammessi.

In questo senso, egli è manifesto che i concetti matematici, rigorosamente suscettibili di dimostrazione, di tempo assoluto, di posizione e di direzione assolute nello spazio, e di moti assoluti di traslazione e

Digitized by Google

rotazione, sono raggiungibili, ed egli è su questo terreno che Russell sostiene la controversia di Newton nella sua precisa espressione verbale, e senza qualche supposizione, come io ne ho fatto, che vi possa essere stata un'implicita, sebbene non espressa, reference all'etere quale armatura. Ora io posso dire subito che io mi trovo completamente d'accordo con Russell, ed ammetto pienamente la validità della di lui controversia riguardo ai vari spazi matematici di sistemi puramente geometrici e riguardo ai moti assoluti della dinamica razionale. Newton tuttavia non stava trattando dei concetti puramente matematici di dinamica razionale nei suoi riferimenti al moto assoluto, ma bensì dei concetti fisici di dinamica applicata — argomento molto differente dal primo.

Io non ho difficoltà veruna, ad esempio, di formarmi un concetto matematico di uno spazio di 4 o 5 od anche di **n** dimensioni, dacchè tutti simili spazi sono definiti per mezzo di relazioni matematiche perfettamente definite; ma io sarei del tutto incapace di formarmi qualche cosa che fosse suscettibile d'essere denominata concezione fisica di uno spazio a quattro dimensioni, benanche mercè l'aiuto di simili capi di cognizione come quella che un ente capace di moto a quattro dimensioni possa entrare in uno spazio chiuso del nostro mondo a tre dimensioni senza passare attraverso i limiti di quello.

L'infinità del nostro proprio spazio secondo Euclide, ed il fatto che delle figure possono esser mosse attorno in esso senza sottostare a cambiamenti di dimensioni o di forma, rende estremamente difficile il formarsi alcunchè di approssimantesi ad un definito concetto fisico di posizioni assolute e direzioni che non si possano con verun mezzo segnare, dacchè tutte le parti dello spazio sono esattamente consimili. Il modo il più efficace che io possa immaginare di superare parzialmente questa difficoltà è di rimpiazzare l'assioma di Euclide rispetto alle rette parallele con altro, che le faccia incontrare se prolungate in una delle due direzioni ad una distanza grande ma finita. Se la distanza fosse sufficientemente grande, noi non saremmo già in grado di far distinzioni tra tale spazio e quello d'Euclide; ma esso si trasformerebbe in ciò che è noto come spazio ellittico, che sarebbe di un'estensione finita, ed, inoltre, tutte le figure mosse intorno in esso muterebbero di dimensione e di forma nello spostarsi dall'uno all'altro sito. Se la distanza scelta fosse sufficientemente grande, questi cambiamenti sarebbero a noi impercettibili, e di fatti noi non possiamo dire che questa non sia la reale natura dello

Digitized by Google

spazio nostro (1). Il carattere di questi cambiamenti, in una forma molto esagerata, rassomiglierebbe a quelli osservati nelle riflessioni di oggetti che si muovono, nell'interno di un ordinario piatto metallico per coprire le vivande. La concezione di tali cambiamenti, sebbene anche così piccoli da riuscire impercettibili, grandemente ci aiuterà per fissare i nostri pensieri sovra un punto scelto nello spazio, dacchè lo spazio è adesso non solamente finito, ma differisce per carattere da punto a punto.

Quando noi pensiamo dello spazio come ripieno di qualche cosa, come l'etere, ci sembra molto più facile il pensare della posizione o direzione relativamente a quello, anche se noi pensiamo all'etere soltanto come ad un mezzo continuo perfettamente uniforme; e diventa più agevole ancora quando noi pensiamo allo spazio come ripieno di vortici o rotazioni d'etere che hanno da essere attraversati nel muoversi da punto a punto.

---

(1) Indicazioni dell'estensione finita del nostro universo di materia e di etere, che sono considerate nel Capo XIV. appaiono suggerire l'oggettiva realtà di questo concetto.

Digitized by Google

CAPO VI.

Relazioni tra l'etere e la materia in moto.

Noi vedemmo nel Capo IV che la spiegazione dei fenomeni ottici richiede che tutti i corpi materiali siano penetrabili liberamente dall'etere. Noi sappiamo pure, quale tema d'osservazione ordinaria, che qualunque siano le relazioni che possano esistere tra etere e materia, esse non sono di tal carattere da produrre qualche effetto percettibile diretto sopra i nostri organi sensori. Se qualche resistenza fosse offerta dall'etere al moto di masse materiali attraverso di esso, i mezzi i più immediatamente ovvî per scoprire quella sarebbero trovati nei suoi effetti nel ritardare i moti dei corpi celesti. I moti dei pianeti e dei loro satelliti possono essere calcolati così accuratamente che le deviazioni anche estremamente piccole dovute alla presenza di un mezzo resistente sarebbero, col tempo, portate entro la sfera d'azione dei mezzi d'osservazione degli istrumenti astronomici misuratori. Tali effetti sono stati ricercati, e fu ad un tempo pensato che indicazioni della presenza di un mezzo resistente erano fornite dai moti di qualche cometa, specialmente da quella di Encke. Al presente, se l'esistenza di tale ritardo fosse stabilita, noi ascriveremmo quella alla presenza nello spazio di meteoriti o polvere cosmica (v. Capo XII), oppure agli effetti di gravitazione considerati nel Capo XIV e non alla presenza dell'etere. Se una qualche resistenza consimile fosse offerta dall'etere ai moti dei corpi celesti, sarebbe necessario un certo strascinamento dell'etere insieme con sè da un corpo in moto, e tali spostamenti condurrebbero ad effetti ottici che forniscono testimonianze molto più sensibili che il cambiamento di moto dovuto alla resistenza.

Digitized by Google

Il primo di questi effetti ottici che noi considereremo è il fenomeno astronomico dell'*aberrazione della luce*, che fu scoperto da Bradley l'anno 1727. Una piccola proporzione delle così dette stelle fisse sono abbastanza vicine alla terra da apparire sensibilmente spostate sulla celeste sfera quando sono vedute dalle opposte estremità di un diametro dell'orbita della terra, una distanza di circa 186.000.000 miglia, cioè quando le osservazioni terrestri sono fatte coll'intervallo di sei mesi. L'angolo tra le due direzioni in cui la stella è veduta — vale a dire l'angolo sotteso alla stella dal diametro dell'orbita della terra — è chiamato il parallasse annuale della stella. È facile di vedere che lo spostamento apparente dovuto al parallasse annuale avrà luogo lungo un cerchio massimo (1) che passa attraverso le posizioni apparenti del sole e della stella nella sfera celeste. Bradley andò facendo ogni suo sforzo per scoprire traccie di parallasse annuale in parecchie stelle che passarono vicino al suo zenit (2), mentre esse sarebbero state nella più favorevole posizione per essere misurate. Le di lui osservazioni mostrarono spostamenti nella posizione di ciascuna delle stelle sotto osservazione, e questi spostamenti avevano l'atteso periodo completo di un anno. Gli spostamenti tuttavia non erano diretti verso il sole, oppure nella direzione opposta, come essi sarebbero stati se essi fossero dovuti al parallasse annuale. Essi erano in una direzione ad angoli retti con quella — cioè essi erano in direzione parallela al moto della terra sulla sua orbita. Dopo molti tentativi per spiegare questi spostamenti, si dice che la spiegazione sia stata suggerita a Bradley dal suo guardare una bandiera sventolante dall'albero maestro di una nave. Quando il bastimento cambiava la sua direzione egli avvertì che la bandiera sfuggiva in un'altra differente. Una illustrazione più diretta fu fornita da goccie di pioggia cadenti perpendicolarmente, che appariscono spingersi verso la faccia di un osservatore che si muova innanzi relativamente all'aria che le porta. Questa spiegazione sarebbe tenuta buona per ogni teoria della luce propagata in raggi viaggianti con rapidità finita. Secondo la teoria corpuscolare di Newton sarebbe richiesto che le particelle luminose non

(1) Un cerchio massimo sopra una sfera è una sezione della superficie sferica da un piano che passa per il suo centro.

(2) Lo zenit dell'osservatore è il punto della sfera celeste che è verticalmente al di sopra di lui.

Digitized by Google

fossero sensibilmente impressionate dalla gravitazione della terra; e nelle teorie ondulatorie sarebbe richiesto, o che l'etere non venisse sensibilmente disturbato dal moto della terra attraverso di esso, o che vi fosse qualche speciale accomodamento conducente al medesimo risultato.

Arago fece qualche misura molto accurata dell'ammontare della rifrazione di un raggio di luce proveniente da una stella, che attraversava un prisma di cristallo, mentre la direzione di propagazione era la stessa come quella del moto orbitale della terra, e mentre essa era in opposta direzione, rispettivamente. Egli fu addotto a fare queste esperimenti a cagione del fatto che la teoria corpuscolare della luce indicava una differenza nella velocità di trasmissione nel cristallo e nell'aria, e quindi egli arguiva che l'aberrazione del suo percorso dovesse mostrare una differenza corrispondente. I di lui calcoli indicavano che una differenza di circa un minuto nell'angolo di rifrazione dovesse essere preveduta, una quantità che il di lui apparecchio era perfettamente atto a scoprire. Il risultato degli esperimenti fu che nessuna differenza poteva esser scoperta. Da questo egli dedusse la conseguenza perfettamente valida che la spiegazione corpuscolare del fenomeno di aberrazione, generalmente accettata, era insufficiente. Egli quindi richiese a Fresnel se egli potesse con maggior soddisfazione mediante la teoria ondulatoria rendersi ragione del nessun effetto prodotto dal moto della terra sulla rifrazione della luce. Fresnel, nella sua replica, osservò dapprima che la delucidazione di questo punto era la più importante per ciò che considerazioni consimili si applicherebbero alla luce proveniente da sorgenti terrestri, dacchè la velocità delle onde è indipendente dal moto del corpo da cui quelle emanano.

Sarà interessante l'osservare a questo punto che, sebbene la verità di quanto ha stabilito Fresnel circa all'essere la velocità di propagazione indipendente dal moto della sorgente di luce, sia stata confermata dalle nostre presenti cognizioni, ancora l'esperimento di Arago avrebbe fatto vedere una differenza se egli fosse stato in grado di impiegare mezzi di misurazione della sensibilità ora a nostra disposizione.

Questo non sarebbe stato dovuto a qualche alterazione nell'aberrazione, o nella velocità di propagazione della luce, ma ad un'alterazione della lunghezza d'onda, dovuta ai differenti moti relativi della stella e dell'osservatore nei due casi. Mentre il prisma era portato verso la stella dal moto orbitale della terra, sarebbe caduto sul prisma per

Digitized by Google

ogni secondo un maggior numero di onde, che non quando esso prisma veniva portato in direzione opposta. Ora, questi impulsi darebbero origine ad una nuova serie di onde di etere entro il prisma, le cui lunghezze d'onda, essendo determinate dal numero d'impulsi per ogni secondo cadenti sul prisma, sarebbero quindi più corte e per conseguenza più grande sarebbe la rifrazione in quest'ultimo di quanto lo sarebbe nel primo. Questo è conosciuto, dal nome del suo scopritore, come effetto di Doppler, ed è stato applicato da Sir William Huggins alla determinazione della velocità colla quale le stelle stanno approssimandosi alla terra od allontanandosi da essa. Una semplice analogia è fornita dal caso di un reggimento di soldati i quali camminino ad una velocità uniforme dinanzi ad un osservatore. Se l'osservatore si muove nella direzione opposta a quella della marcia del reggimento, egli oltrepasserà un maggior numero di righe in un dato tempo di quanto gli avverrebbe restando fermo; mentre se egli cammina nella stessa direzione con una velocità minore del reggimento egli oltrepasserà meno righe in un tempo dato che se egli fosse rimasto in riposo (1).

Una molto più completa analogia si trova nell'osservazione famigliare che la nota emessa dal fischio di una locomotiva appare essere più alta quando sta avvicinandosi, e più abbassata quando sta allontanandosi dall'osservatore. Nel primo caso il timpano dell'orecchio riceve di più, e nel secondo caso di meno, impulsi per secondo che quando il treno è in riposo. Egli è il numero degli impulsi che cadono sul timpano in un secondo che determina il moto dell'aria dentro l'orecchio, e quindi il tono della nota.

Fresnel quindi andava oltre ad osservare che sarebbe facile spiegare il fatto che la riflessione e la rifrazione della luce non sono influenzate dai moti dell'apparecchio osservatore relativamente alla sorgente, se l'etere circostante all'apparecchio potesse essere considerato come trasportato dalla terra nel suo moto, ma che i fatti dell'aberrazione apparivano provare il contrario della possibilità di tal caso. In vista di questi fatti, egli fu tratto alla conclusione che la terra ed altri corpi devono essere liberamente permeabili all'etere, e capaci di muoversi attraverso ad esso senza dare origine a spostamenti di percettibile

(1) Vedere anche: POYNTING e THOMSON, Heat, p. 338.

Digitized by Google

quantità. Supponendo, quindi, che la velocità delle onde di etere esternamente ad un corpo trasparente abbia il suo valore normale, il problema da risolvere era di determinare la possibilità di una modificazione della velocità entro un mezzo moventesi attraverso l'etere, tale da rendere le leggi di rifrazione (e riflessione) identiche con quelle per un corpo in riposo. Fresnel mostrò agevolmente che questo sarebbe il caso, nell'esperimento di Arago, se la velocità entro il cristallo fosse aumentata della quantità $v\,(1 - \frac{1}{n^2})$, in cui v è la velocità del cristallo nella direzione della propagazione della luce, ed n è l'indice di rifrazione del cristallo. La modificazione nel caso di raggi riflessi terrebbe dietro necessariamente alla modificazione dei raggi rifratti. L'esperimento di Arago fu ripetuto con apparecchio molto più delicato, ma collo stesso risultato, da Clerk Maxwell, e nel 1867 Maxwell condusse a termine più completamente la teoria della legge di Fresnel. Prendendo V come velocità della luce nell'aria, V' come la sua velocità in un mezzo più denso, v' come la quantità di cui V è variata dal moto dell'etere relativamente al mezzo, e v la velocità dell'etere nell'aria relativamente all'osservatore, fu trovato che, trascurando i quadrati e le più alte potenze di v'/V, vale a dire al primo ordine di piccole quantità, la velocità assoluta di un raggio dovrebbe essere accresciuta di $v\,(1 - V'^2/V^2)$. In un mezzo isotropico (cioè un mezzo che abbia proprietà identiche in tutte le direzioni) V'/V è l'indice di rifrazione, cosicchè la legge per tali mezzi è come quella data da Fresnel. Quest'ultimo tentò, ma senza successo, di spiegare la legge con una base dinamica. Invece tale base per la legge è provveduta dalla teoria elettronica della materia.

Boscovitch aveva suggerito, ad una data molto anteriore, che, dacchè la velocità della luce nell'acqua differiva da quella nell'aria, una differenza nell'abberrazione di una stella avrebbe potuto essere scoperta se la stella fosse prima osservata nel modo ordinario attraverso un telescopio astronomico, e poscia attraverso un telescopio ripieno di acqua. Questo esperimento non sembra sia stato eseguito finchè, verso la fine dell'ultimo secolo, Sir Giorgio Airey ebbe tale strumento temporaneamente eretto all'Osservatorio di Greenwich. Tuttavia non fu osservata differenza, verificandosi che la differente aberrazione del raggio nell'acqua era esattamente compensata dalla modificazione di Fresnel della rifrazione sul passaggio dei raggi di luce in un mezzo in moto.

Digitized by Google

Dopo l'esperimento di Arago, furono fatte numerose indagini in molti casi con delicatissimi apparecchi, per decidere se altri fenomeni ottici fossero influenzati in qualche maniera dal moto della terra. I risultati sono stati tutti decisamente negativi, eccettochè nel caso di esperimenti fatti da Fizeau, in cui egli pensò di poter scoprire qualche evidenza di spostamento, dovuto al moto della terra, del piano di polarizzazione della luce passante attraverso una pila di lastre di vetro. Fizeau stesso, tuttavia, riguardava questo risultato come sommamente dubbioso, a cagione della difficoltà provata nell'eliminare effetti perturbatori. Nel 1893 Sir Oliver Lodge tentò di scoprire qualche moto dell'etere tra due dischi d'acciaio collocati vicinissimi e rotanti rapidamente sopra un asse comune. Queste osservazioni, che erano di un carattere molto raffinato, diedero risultati recisamente negativi (1).

Un brillante tentativo fu fatto da Sir George Stokes, più di mezzo secolo fa, per sviluppare la teoria di un etere che dovrebbe essere trasportato insieme colla terra nel suo moto, poichè egli non era preparato per ammettere la validità delle vedute di Fresnel che l'etere potesse passare liberamente attraverso gli interstizi dei corpi materiali. Questa ipotesi era di una difficoltà molto formidabile, avendo riguardo alle vedute allora accreditate circa la costituzione di masse solide di materia, e fu soltanto adottata da Fresnel come un rifugio dalle ancora più grandi difficoltà che apparivano essere introdotte dalla supposizione che l'etere fosse trasportato dalla terra nel suo moto. La difficoltà di immaginare la possibilità dell'etere, che passa liberamente attraverso ai corpi solidi, come il vento passa attraverso un boschetto di alberi — per usare una similitudine impiegata d Tommaso oung — è intieramente rimossa insieme con molte altre difficoltà dalla teoria degli elettroni. Questo noi vedremo più tardi. Vale tuttavia la pena di rendere atto il lettore a vedere di per sè che persino l'abilità di Stokes era impotente a superare le difficoltà inerenti alle teorie di un etere in moto. Il metodo di accostarsi al problema fu suggerito a Stokes da indagini idrodinamiche

(1) Il procedimento consisteva nel dividere un raggio di luce mandandone le due parti attorno ai due dischi in direzioni opposte, e lasciandole ricongiungersi di poi. Se l'etere era dai dischi trasportato insieme con essi, un fascio di luce sarebbe stato accelerato e l'altro ritardato, cosicchè sarebbesi osservato un cambiamento nelle frangie d'interferenza.

(*Nota dell'Autore per l'edizione italiana*).

Digitized by Google

nelle quali egli era stato impegnato, ed il di lui punto di partenza fu un teorema di Lagrange nel quale egli mostrò che nessuna rotazione differenziale, vale a dire, rotazione di porzioni del mezzo relativamente ad altre porzioni, può giammai sorgere in un fluido idealmente senza attrito, che fosse originariamente in riposo. Quest'assenza di rotazione differenziale era essenziale perchè fosse possibile di spiegare i fenomeni di aberrazione; perchè nell'assenza di essa non vi sarebbe oscillazione circolare della fronte d'onda di un treno di onde luminose nel suo passaggio dall'etere in riposo all'etere in moto, e quindi la propagazione dei raggi continuerebbe ad essere rettilineare, appunto come se l'etere fosse in riposo. Le onde entrando nel telescopio dell'osservatore sarebbero quindi influenzate relativamente a quello con completa variazione di direzione per aberrazione, dovuta al di lui moto, esattamente come nel caso di una particella in moto. Stokes presumeva che il mezzo avesse le proprietà d'un fluido senza attrito per moti comparativamente lenti di corpi attraverso a quello, e le proprietà di un solido elastico per le vibrazioni sommamente rapide involte nelle onde di luce. La possibilità di queste proprietà coesistenti nello stesso mezzo fu illustrata dal modo di comportarsi della pece, come fu menzionato nel Capo IV. Qui una difficoltà sorse nel fatto che un moto senza rotazione, se una volta stabilito in un fluido senza attrito, diverrebbe instabile, ed il fluido non conserverebbe la continuità del moto. Stokes tentò di superare questa difficoltà mediante la supposizione che il fluido avesse traccie infinitesimali di viscosità, poichè gli era riuscito da poco tempo di stabilire matematicamente che il moto costante di una sfera attraverso un fluido viscoso conserva il suo carattere per quanto piccola sia la viscosità. Inoltre, un flusso senza rotazione dà origine a reazioni non viscose entro la massa di un fluido viscoso. Questo renderebbe atti dei solidi idealmente senza attrito ad attraversare il mezzo senza destare rotazione, a dispetto dello scivolamento alle loro superfici. Tuttavia l'ordinarie superfici dei corpi, con attrito, darebbero origine a successivi strati di rotazione, dilatantisi all'infuori dalle superfici in una maniera consimile alla diffusione di calore per trasmissione da un corpo caldo. Questa difficoltà egli superò col mostrare che le qualità elastico-solide del mezzo richiesto per la trasmissione delle vibrazioni luminose trasversali conserverebbe la natura senza rotazione del flusso, perchè la rotazione sarebbe ora propagata all'infuori delle superfici in moto dalle onde trasversali di spostamento, invece che per diffusione, come in un fluido ordinario,

Digitized by Google

e la velocità della luce richiederebbe una elasticità così alta che ogni rotazione incipiente sarebbe immediatamente effusa via dalla superficie, e dispersa.

Questa teoria, per quanto bella, non provvede, come osserva Larmor, un mezzo della natura richiesta per la rappresentazione, nè essa rimedia alle difficoltà che appaiono essere inerenti alla supposizione di un etere in moto. La trasparenza dell'etere dev'essere sufficiente per trasmettere la luce delle più lontane stelle, che sembrerebbero richiedere una trasparenza matematicamente assoluta al posto della trasparenza approssimativa di tale mezzo come quello di Stokes. Inoltre, quest'imperfetta trasparenza, dovuta alla supposizione di traccie di viscosità, involverebbe necessariamente la rovina di tutte le strutture esistenti nell'etere cosicchè un tale etere non potrebbe formare una base per la materia. Ed anche se questa difficoltà fosse superata, un'altra ugualmente seria si opporrebbe a noi. I fenomeni di aberrazione ed i risultati negativi di tutti i tentativi ottici per ottenere l'evidenza del moto attraverso all'etere sarebbero pienamente spiegati se si potesse supporre che il moto della terra dia origine ad un flusso differenzialmente senza rotazioni nell'etere circostante, ma di un tal carattere che in tutte le regioni che si estendono dalla superficie della terra alle più grandi distanze alle quali sia possibile l'esplorazione, l'etere sia portato insieme intieramente colla terra. Noi non potremmo fare questa supposizione senza presupporre altresì che l'etere fosse asportato dagli altri corpi celesti nella stessa maniera, e quindi, sia che noi avessimo supposto che l'etere frapposto ad una distanza da tutti simili corpi rimanga in riposo, oppure no, sarebbe impossibile, senza discontinuità, di connettere questi stati di moto mediante dei possibili movimenti senza rotazione, dell'etere frapposto. Simili difficoltà sarebbero incontrate nel caso di corpi in moto sulla superficie della terra, come ad esempio i dischi di Lodge. Larmor osserva che noi potremmo essere tentati di rimpiazzare il moto assolutamente senza rotazione dell'etere circostante, che implica scivolamento alle superfici dei solidi che lo attraversano, col moto di una debolissima rotazione tale che impedirebbe lo scivolamento. Tuttavia questo non sarebbe coerente coi fenomeni di aberrazione, perchè, minore è la rotazione e più grande è la distanza a cui essa deve estendersi, mentre la risultante aberrazione è proporzionale al prodotto di queste quantità.

Affatto indipendentemente da ogni speciale supposizione circa le

Digitized by Google

relazioni tra etere e materia, tale come quella della teoria degli elettroni, i principii generali della rappresentazione di Faraday - Maxwell della trasmissione di azioni elettro-magnetiche mediante un mezzo, come opposti alla teoria dell'azione a distanza, mostrano che tutti i visibili effetti ottici dovuti ai moti relativi di etere e materia devono, se essi pur esistono del tutto, essere eccessivamente piccoli. Invero non possono essere previsti degli effetti proporzionali al rapporto v/V, cioè della velocità di traslazione della materia relativamente all'etere, alla velocità della luce nell'etere libero, ma solamente effetti proporzionali al suo quadrato, od alle sue più alte potenze.

Il più alto valore che possa essere raggiunto da v sarà quello dovuto al moto della terra attraverso ad un etere tranquillo o stagnante. La principale componente di questo, ammontante a circa 30 chilometri per secondo, sarà la componente dovuta al moto orbitale della terra. La componente dovuta alla rotazione della terra è inferiore a mezzo chilometro al secondo, e può essere trascurata al paragone di quella. Vi sarà altresì una componente di un ammontare ignoto, dovuto al moto, scoperto da Herschel, dell'intiero sistema solare attraverso allo spazio nella direzione della costellazione di Ercole. Questo accrescerà o diminuirà quella dovuta al moto orbitale, secondo la posizione della terra nella sua orbita al tempo dell'osservazione, cagionando un aumento quando il moto orbitale ha una componente nella direzione di Ercole, ed una diminuzione quando vi è una componente nella direzione inversa. Gli esperimenti fatti per cercare un effetto dipendente dall'esistenza di una velocità v della terra relativamente all'etere si sono prolungati per lunghi periodi, e molti di essi, specialmente il celebre esperimento di Michelson Morley, che sarà considerato fra poco, oltre ad estendersi per lunghi periodi, sono stati effettuati con piena cognizione, da parte degli osservatori, della possibilità del movimento del sistema solare attraverso allo spazio, ritenendolo come causa di una diminuzione dell'effetto a certe stagioni dell'anno. Noi possiamo pertanto essere certi che durante almeno metà dell'anno la velocità v non è meno di 30 chilometri al secondo, se l'etere è stagnante, e noi abbiamo veduto che la supposizione che esso sia trasportato insieme dalla terra si involverebbe in insuperabili difficoltà. Ora, il valore di V è circa di 300.000 chilometri per secondo, cosicchè il rapporto v/V non sarà minore di un deci-millesimo. Dacchè ogni effetto da ricercarsi non può essere proporzionale a v/V, ma tutt'al più soltanto a v^2/V^2, cioè ad un

Digitized by Google

centi-milionesimo, si scorgerà che solamente un metodo di osservazione straordinariamente delicato potrebbe essere ritenuto idoneo a condurre ad un qualche percettibile risultato. Fu suggerito da Maxwell che potrebbe essere possibile di scoprire una differenza nel tempo che si propaga un raggio di luce tra due punti ad una distanza fissa l'un dall'altro, quando la linea retta che li congiungerebbe fosse posta, dapprima nella direzione del moto orbitale della terra, e di poi in una direzione ad angoli retti con quella. L'esperimento fu fatto da Michelson nel 1881 e non fu osservato alcun effetto qualsiasi. Il risultato mostrò concludentemente che non vi potrebbe essere effetto di prim'ordine rispetto alla piccola quantità v/V; ma il metodo non fu stimato sufficientemente sensibile per provare senza ombra di dubbio che non vi fosse un effetto di secondo ordine, cioè uno proporzionale al quadrato di v/V. L'esperimento fu quindi ripetuto con raffinatezza molto maggiore di particolari, da Michelson e Morley nel 1887.

La fig. 3 fa vedere le parti essenziali dell'apparecchio impiegato, consistente in un'armatura metallica con due bracci DB e DC ad angoli

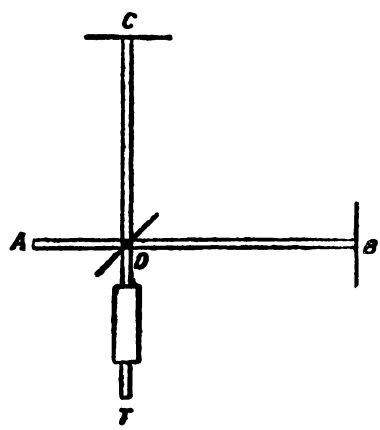


Fig. 3.

retti, e per quant'è possibile uguali in lunghezza. Specchi metallici erano fissati in B ed in C, rispettivamente perpendicolari a BD ed a CD. Uno specchio di cristallo non inargentato fu fissato in D, facente un angolo di 45° colla linea AB; e un telescopio, col suo asse perpendicolare ad AB fu fissato in T. L'intiero apparecchio fu saldamente fermato ad

Digitized by Google

un blocco di pietra, galleggiante nel mercurio, di tal guisa che AB e CD giacessero in un piano orizzontale, e l'intiero apparecchio potesse, a piacimento, essere girato dolcemente e costantemente attorno ad un asse verticale. Un raggio di luce da un arco elettrico oppure da altra conveniente sorgente di luce in A sarebbe diviso in D in due parti. Una di esse passerebbe attraverso D verso B, da cui sarebbe riflessa indietro su D, dove essa sarebbe di nuovo divisa, parte ripassando attraverso D indietro verso A, e parte essendo riflessa in D in direzione parallela all'asse del telescopio T. L'altra parte sarebbe riflessa da D in C, e quindi di nuovo all'indietro su D, dove essa sarebbe divisa, parte essendo riflessa indietro verso A, e parte passando attraverso D in una direzione parallela all'asse del telescopio. Due fasci di luce della sorgente A entrerebbero allora nel telescopio, l'uno percorrendo il tracciato ADBDT, e l'altro il tracciato ADCDT. Questi due pennelli di luce darebbero origine ad una serie di interferenze colorate per diffrazione nel telescopio se vi fosse la minima differenza nella lunghezza dei due percorsi. Supponiamo che l'apparecchio sia assestato in modo che le diffrazioni siano altrettanto definite nettamente quant'è possibile, quando l'apparecchio è posto per modo che AB rappresenti la direzione del moto orbitale della terra. Il raggio allora andrà da D a B con una velocità $V + v$, e da B a D con una velocità $V - v$. Poichè il rapporto di v^2 a V^2 è quello dell'unità a cento milioni, può essere dimostrato colla sola geometria (1) che il tempo impiegato dal raggio nell'andare da D a B e ritornare a D sarà maggiore di una parte su cento milioni di quando DB è girato trasversalmente ad angolo retto, cioè quando la velocità non sarà influenzata dal moto terrestre. Nell'apparecchio impiegato negli esperimenti del 1887, i raggi erano riflessi all'indietro ed innanzi da specchi in tal modo da accrescere le lunghezze effettive dei bracci DB e DC sino ad 11 metri caduna. Con queste condizioni vi dovrebbe essere, se l'apparecchio andasse movendosi colla terra attraverso all'etere ad una velocità di 30 chilometri al secondo, uno spostamento delle diffrazioni, ammontante a due cinquantesimi della distanza tra due diffrazioni successive, quando l'apparecchio fosse girato trasversalmente ad angolo retto colla sua primitiva posizione. Il risultato fu intieramente negativo, sebbene

(1) Vedasi *Ether and Matter*. p. 46.

Digitized by Google

l'apparecchio fosse sufficientemente sensibile per potere indicare uno spostamento di circa un ventesimo dell'ammontare aspettato.

Questo risultato negativo è di una tale importanza fondamentale che, prima di considerare i suoi rapporti, e la spiegazione che ne è stata data, sarà interessante di esaminare un poco di più circa la natura degli intervalli di tempo che devono essere misurati, e come è possibile di fare le misurazioni con sufficiente accuratezza. Dacchè la lunghezza effettiva di DB nell'esperimento era di 11 metri, la distanza percorsa dalla luce nel suo giro da D a B e di nuovo indietro a D sarebbe di metri 22 se il sistema fosse in riposo nell'etere. La luce attraverserebbe questa distanza in

$$\frac{22}{300.000.000} \text{ sec.} = \frac{7.3}{100.000.000} \text{ sec.}$$

Ora, noi abbiamo accennato che il movimento della terra nella direzione di AB aumenterebbe questo di una parte sovra cento milioni, cosicchè l'aumento, che dev'essere determinato dallo spostamento delle diffrazioni, sarebbe:

$$\frac{7.3}{100.000.000} \times \frac{1}{100.000.000} \text{ sec.} = \frac{7.3}{10.000.000.000.000.000} \text{ sec.,}$$

vale a dire alquanto meno di un milli-bilionesimo di secondo.

Per determinare i limiti della precisione, supponiamo per semplificare, che la sorgente di luce impiegata sia omogenea ed emetta solamente la luce della linea gialla dello spettro del sodio. Questa è vicinissima alla metà dello spettro visibile, la cui lunghezza d'onda è all'incirca di sei deci-millesimi di millimetro, mentre le lunghezze d'onda degli estremi raggi azzurri visibili e degli estremi raggi rossi visibili sono rispettivamente tre decimillesimi ed otto decimillesimi di millimetro. (1) Le diffrazioni sarebbero quindi rimpiazzate da bande alternate di luce ed oscurità, e l'intervallo tra due bande di massima oscurità (o di massima luce) corrisponderebbe al tempo occupato dalla luce nel percorrere una distanza uguale alla lunghezza d'onda della luce, cioè

(1) Questi estremi dello spettro visibile appaiono esagerati: è più opportuno ritenere per estreme le lunghezze d'onda rispettive di quattro e di sette decimillesimi di millimetro. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

sei decimillesimi di millimetro. Gli osservatori inoltre erano in grado di leggere gli spostamenti delle diffrazioni con un errore non eccedente di molto (se pur vi era) un cinquantesimo di un'ampiezza di diffrazione, per modo che l'errore in tempo, misurato in secondi, non oltrepasserebbe di gran che:

$$\frac{\text{Numero di metri in una lunghezza d'onda}}{\text{Velocità della luce, in metri per secondo}} \times \frac{1}{50}$$

$$= \frac{6}{10.000.000} \times \frac{1}{300.000.000} \times \frac{1}{50}$$

$$= \frac{1}{25.000.000.000.000.000} \text{ sec.}$$

Questa quantità, un venticinque milli-bilionesimo di un secondo, rappresentando la più piccola variazione in tempo che potesse essere scoperta nelle osservazioni, è quasi esattamente una diciannovesima parte dell'aumento aspettato, come prima fu dato, e differisce assai poco dall'estimo degli osservatori di circa un ventesimo.

Una variante di questo esperimento con ancora maggiori raffinatezze fu effettuata da Michelson nel 1897, la disposizione essendone adattata per determinare se qualche differenza poteva essere scoperta in due percorsi orizzontali, ciascuno di circa 200 piedi di lunghezza (m.60 circa), ma uno dei quali situato a 50 piedi (15 metri) verticalmente al disopra dell'altro. Se l'etere fosse del tutto strascinato via insieme dalla terra, lo strascico sarebbe più grande ad un livello più basso anzichè ad uno più alto, e l'osservatore concludeva dal risultato assolutamente negativo che se una qualche consimile asportazione di etere avveniva, essa doveva estendersi a distanze di un'entità consimile al diametro della terra, di 8000 miglia — una impossibilità pratica.

In questi ultimi esperimenti si ebbe dapprima a provare qualche disturbo per effetto della temperatura; per eliminare il quale fu trovato necessario di rinchiudere il percorso dei raggi in tubi, in cui s'era fatto il vuoto sino ad una centesima parte d'atmosfera. L'intiero percorso era quindi praticamente nel vuoto, vale a dire, nell'etere libero, cosicchè il risultato negativo non poteva essere dovuto, come è stato suggerito, ad una modificazione dell'etere causata dall'atmosfera.

La primitiva forma dell'esperimento di Michelson-Morley, come fu eseguito nel 1887, sarebbe stata accettata senza discussione, come dimo-

Digitized by Google

strazione che l'etere è asportato insieme colla terra, se non fosse stato per le difficoltà apparentemente insuperabili a cui simile conclusione ci avrebbe posto di fronte, come noi abbiamo veduto prima nel presente capitolo.

Alcuni fisici l'accettarono così. I risultati dell'esperimento del 1897 aggiungerebbero tuttavia ancora di più alle difficoltà implicate in tale conclusione.

È stato osservato, verso lo stesso tempo, da Fitzgerald e Lorentz che il risultato nullo di questo esperimento poteva essere spiegato senza supporre che l'etere fosse trasportato insieme colla terra, col supporre che l'intiero apparecchio, e quindi, naturalmente, tutti gli altri corpi solidi, sottostasse ad una certa contrazione nel senso della direzione del moto, quando si muovono attraverso l'etere.

Quando venne da principio emessa questa ipotesi essa fu considerata da molti fisici come troppo straordinaria per carattere, pef poterla ritenere seria. Lorentz sostenne la sua supposizione con argomenti contenuti nel seguente paragrafo: (1) « Per quanto quest'ipotesi possa apparire straordinaria a primo aspetto, deve essere ammesso che essa non è per verun conto gratuita, se noi presumiamo che le forze intermolecolari agiscano attraverso l'intermediario dell'etere, in una maniera simile a quella da noi conosciuta riguardo alle forze elettriche e magnetiche. Se questo è così, la traslazione della materia altererà, colla massima probabilità, l'azione tra due molecole od atomi in una maniera simile a quella in cui essa altera l'attrazione o la ripulsione tra due particelle elettricamente caricate. Come dunque la forma e le dimensioni di un corpo solido sono determinate, in ultima analisi, dall'intensità delle forze molecolari, un'alterazione delle dimensioni non può essere lasciata fuori di considerazione. Nel suo aspetto teorico vi è quindi nulla da esser obbiettato contro questa ipotesi. Riguardo all'aspetto sperimentale, noi tosto avvertiamo che l'allungamento o la contrazione che essa implica è straordinariamente minuta. Essa implicherebbe un accorciamento nel diametro della terra di circa centimetri 6 e ½. Le sole disposizioni sperimentali colle quali questo

(1) Tradotto da Sir JOSEPH LARMOR dal libro di H. LORENTZ: *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*, Leiden, 1895 e riprodotto in *Æther and Matter*, p. 185.

Digitized by Google

potrebbe divenire evidente sarebbero appunto del tipo di quelle suggerite da Michelson per il primo, per il suo esperimento ».

Lorentz inoltre dimostrò che la necessaria contrazione, nel rapporto dell'unità a $1 - {}^1/_2\, v^2 / V^2$, ammontando, nel caso di corpi portati attraverso all'etere dal movimento orbitale della terra, ad una parte su duecento millioni, poteva essere dedotta da quelle che apparivano essere ragionevoli presunzioni rispetto alle forze intermolecolari. Larmor ha mostrato che questa legge di contrazione è necessariamente vera se le forze intermolecolari dei corpi materiali sono intieramente dovute ad azioni elettriche tra sistemi di elettroni costituenti le molecole.

La quantità che noi abbiamo denominata V, la velocità della luce nel libero etere, ha lo stesso valore per tutti i tipi di radiazione e può essere denominata: costante della radiazione. Quando si desideri far emergere questo aspetto, essa sarà segnata colla lettera c, cosicchè l'espressione data più su per l'accorciamento di corpi muoventisi attraverso l'etere sarà scritta: $1 - {}^1/_2\, v^2/c^2$.

Digitized by Google

CAPO VII.

Trasmissione nei gaz e nei dielettrici.

È meritevole di nota il fatto che, sebbene il passaggio della corrente elettrica attraverso a metalli sia di gran lunga il più frequente dei casi di trasmissione elettrica, la nostra conoscenza del meccanismo mediante il quale quella trasmissione viene effettuata ci si presenti con un aspetto dei più meschini e mal definiti appetto di ciò che è noto intorno ai metodi di trasmissione elettrica attraverso a gaz ed a liquidi. Sir J. J. Thomson osserva che questo è senza dubbio in parte dovuto al fatto che la teoria cinetica dei gaz ci fornisce circa alla struttura di un gaz una concezione molto più definita di quanto presentemente si possa avere intorno a quella di un metallo. Egli suggerisce inoltre che questo possa essere dovuto parzialmente al fatto che i fenomeni di trasmissione metallica sono molto meno variati e mostrano delle particolarità in molto minor numero di quelle osservate nel passaggio di elettricità attraverso a gaz, e che sono appunto queste particolarità che dànno la chiave per conoscere il meccanismo per mezzo del quale ha luogo la trasmissione della corrente elettrica. Egli è per tal ragione che io sto trattando dei fenomeni della trasmissione gazosa fin da questo primo inizio.

La conducibilità del gaz nello stato normale è così piccola che il leggiero disperdimento di elettricità osservato quando un conduttore carico è immerso in un gaz è stato per lungo tempo attribuito intieramente al difettoso potere isolatore dei supporti, od alla presenza di particelle di polvere nel gaz.

Una lunga serie di misurazioni ad aria aperta pubblicate da Elster e Geitel nel 1900 ha dimostrato che la ragione di perdita varia grandemente col tempo e col luogo.

Digitized by Google

Essa aumenta, per esempio, coll'altitudine, ed è molto più grande col bel tempo che colla nebbia o caligine. Poco dopo, Geitel e Wilson entrambi trovarono che la ragione di perdita dalle foglie di un elettroscopio è più piccola in un recipiente chiuso che in uno aperto, e che essa cresce col crescere delle dimensioni del recipiente. Essi trovarono pure che, quando la differenza potenziale tra le foglioline d'oro e le pareti del recipiente che le racchiude è aumentata, la ragione di perdita aumenta solamente sino ad un limite fisso, finchè la differenza potenziale diviene sufficiente perchè abbia luogo una produzione di scintille. Questa ragione massima di perdita fu trovata da Wilson essere approssimativamente proporzionale alla pressione del gaz.

Elster e Geitel trovarono pure la ragione di perdita essere eccezionalmente alta in cantine e grotte ripiene d'aria stagnante. In una grotta la perdita è stata non meno di sette volte più grande di quanto fosse nell'aria esterna.

Vi sono molti metodi coi quali i gaz possono essere trasformati dalla condizione di essere quasi non conduttori in altra condizione nella quale essi possano avere una conducibilità affatto considerevole. Tra questi metodi sono da annoverarsi: l'innalzamento della temperatura di un gaz oltre ad un certo punto; o il sottoporlo all'azione di un campo elettrico sufficientemente energico, od a quella di certe forme di radiazione.

Quando un gaz è stato trasformato nello stato di conducibilità, e viene rimosso l'agente trasformatore, il gaz, nelle circostanze ordinarie ritorna soltanto lentamente e gradualmente alla condizione normale; ma quest'ultimo cambiamento può essere di molto accelerato col filtrarlo attraverso lana di vetro, obbligandolo a gorgogliare attraverso ad acqua, o sottoponendolo ad un energico campo elettrico, dando origine ad una corrente attraverso al gaz.

Questi risultati sembrano dimostrare che la conducibilità è dovuta alla presenza di particelle che differiscono in qualche modo dalle normali particelle del gaz. La rimozione della conducibilità dimostra elettricamente che queste particelle devono portare cariche elettriche, e devono muoversi sotto l'influenza di un campo elettrico; ed il fatto che nessuna elettrificazione del gaz nel suo complesso abbia luogo come risultato di quella rimozione, dimostra che le cariche devono essere tanto positive quanto negative. A cagione della loro analogia con i joni che si trovano nell'elettrolisi di soluzioni, le particelle cariche sono state pure chiamate joni da Sir J. J. Thomson ed altri, ed il processo

Digitized by Google

di trasformare un gaz nello stato di conducibilità mediante la produzione di questi joni è ora generalmente noto come jonizzazione. Si è trovato tuttavia che questi joni gazosi differiscono grandemente tanto nelle loro masse, quanto nelle loro cariche elettriche, dai joni che si trovano nell'elettrolisi di soluzioni.

Se due lastre metalliche parallele sono immerse in un gaz allo stato di conducibilità, ed una differenza di potenziale è stabilita fra di esse, passerà una corrente elettrica tra le lastre. La relazione tra la corrente e la differenza potenziale può essere ricercata col connettere una delle lastre parallele con una delle coppie di quadranti di un elettrometro, l'altra coppia essendo sotterrata. L'altra lastra è connessa con un serrafilo di una batteria secondaria, mentre l'altro serrafilo di questa è sotterrato. Le due coppie dei quadranti dell'elettometro sono connesse insieme sinchè l'osservatore è pronto a far le letture. L'unione è allora rotta, e la ragione di aumento della deviazione dell'elettrometro misura la corrente che passa tra le lastre. Con una piccola differenza potenziale tra le lastre, sarà trovato che la corrente cresce proporzionalmente a questa differenza, ciò che è in armonia colla legge di Ohm, come nel caso tanto di un'ordinaria trasmissione metallica, quanto di quella elettrolitica.

Si troverà tuttavia che quando una differenza potenziale è gradualmente accresciuta, la ragione d'aumento nella corrente diventa minore, sinchè la corrente non raggiunga un valore massimo, noto come *corrente di saturazione*. Un aumento ulteriore nella differenza potenziale, oltre a quella quantità richiesta per produrre la corrente di saturazione, non produrrà aumento ulteriore nella corrente, finchè il campo elettrico è forte abbastanza per dar origine da se stesso alla jonizzazione, dopo di che la corrente crescerà più rapidamente che la differenza potenziale. Per una distanza data tra le lastre, la differenza potenziale richiesta per produrre la jonizzazione è direttamente proporzionale alla pressione dei gaz.

Con una differenza costante di potenziale, più che sufficiente a produrre la saturazione, ma non sufficiente per cagionare jonizzazione, si troverà che un aumento della distanza tra le lastre cagionerà un aumento nella corrente, invece di una diminuzione, che sarebbe osservata se esse fossero separate da un liquido o da un solido.

Questo fenomeno può essere molto semplicemente spiegato coll'ipotesi della jonizzazione. Supponiamo che l'agente jonizzante produca

Digitized by Google

la jonizzazione uniformemente attraverso i gaz, facendo aumentare la jonizzazione colla ragione di $2n$ joni per unità di volume per ogni secondo. Allora se A è l'area di una delle lastre, e d la distanza che è frapposta fra le due lastre, il volume del gaz incluso fra di esse sarà Ad, e la jonizzazione totale per secondo sarà quindi $2nAd$. Se il movimento dei joni sotto l'azione del campo elettrico fosse tanto rapido che ciascun jone potesse essere considerato come giungente ad una o ad un'altra lastra all'istante stesso in cui esso è prodotto, gli nAd joni positivi sarebbero tratti contro l'elettrodo negativo, e gli nAd joni negativi contro l'elettrodo positivo, in un secondo, cosicchè se e è il valore numerico della carica di ciascun jone, e C la corrente, noi dovremmo avere

$$C = nAde.$$

La corrente diverrebbe quindi tosto in tali circostanze, proporzionale al volume Ad del gaz, e quindi se d fosse variato da solo, la corrente varierebbe nella stessa ragione. Le velocità medie dei joni positivi e negativi sono proporzionali alla forza elettrica e si verifica che esse variano, sotto una forza elettro-motrice di un volt per centimetro, da centimetri 0.78 al secondo nel caso di acido carbonico, a centimetri 7.2 al secondo nel caso di idrogeno secco. In conseguenza di queste moderate velocità un piccolo intervallo di tempo deve passare prima che si stabilisca uno stato costante, ma tostochè esso è raggiunto, il numero di joni ottenuti dal gaz in un dato tempo deve essere uguale al numero prodotto in un tempo uguale e la corrente quindi raggiungerà il suo massimo valore o valore di saturazione. Questa proporzionalità diretta tra la corrente di saturazione e la distanza fra le lastre fu sperimentalmente dimostrata nel 1896 da Sir J. J. Thomson ed E. Rutherford nel caso di gaz esposti ai raggi Röntgen.

Anche nell'assenza di una forza elettrica che agisca sul gaz e che rinnova alcuni o tutti i joni, la jonizzazione non diventerebbe giammai completa, quando la produzione di joni, qualunque sia l'agente jonizzante impiegato, è accompagnata da una continua perdita di jonizzazione, dovuta alla ricombinazione di joni negativi e positivi quale risultato di collisioni. Quando la ragione di jonizzazione pareggia la ragione di perdita, si conserverà una condizione costante. Egli è chiaro quindi, che la jonizzazione deve incominciare a diminuire tosto che l'agente jonizzante cessa di agire.

Digitized by Google

Un'altra causa di perdita nella jonizzazione di un gaz è la diffusione dei joni attraverso al gaz, finchè essi vengano in contatto colle pareti del recipiente che lo contiene, alle quali essi aderiscono, per causa dell'attrazione cagionata dalle loro cariche elettriche. Townsend ed altri hanno dimostrato che le ragioni di diffusione dei joni differiscono per i diversi gaz, e che esse sono considerevolmente più piccole per i joni gazosi, che per le particelle non jonizzate degli stessi gaz. Può essere facilmente dimostrato che le rapidità dei vari joni in un campo elettrico deve essere proporzionale alle loro ragioni di diffusione. Zeleney ha trovato nel 1898, da misurazioni delle rapidità di vari joni nel campo elettrico, che i joni negativi si muovono più rapidamente di quelli positivi. Questo spiega il fatto che in certe circostanze, gaz jonizzati, originalmente non elettrizzati, possano divenire carichi positivamente. Questo succede, per esempio, quando tali gaz sono soffiati attraverso a tubi di metallo, ed è dovuto evidentemente al fatto che un maggior numero di joni negativi è perduto per diffusione contro le pareti del tubo, anzichè di joni positivi.

Quando un jone carico muovesi in un campo di forza magnetica, esso è deviato, la sua tendenza essendo di muoversi trasversalmente alle linee di forza magnetica. Siano: v la velocità del jone, o particella carica, in centimetri al secondo, e la sua carica elettrica, H il valore numerico della forza magnetica nella posizione della particella (e ed H essendo misurati in unità elettro-magnetiche), e sia ancora θ l'angolo tra le direzioni di H e di v, allora la forza che agisce sul jone, o particella carica, sarà Hev sen θ, (vedi nota alla fine del presente capitolo), e la sua direzione sarà ad angoli retti con H e con v. Il più semplice caso possibile sarebbe quello di una particella che si muova in un campo magnetico uniforme nel vuoto. Le linee di forza sono allora delle rette parallele. Se nessuna forza elettrica agisce sul jone, la forza che agisce sopra di esso essendo soltanto quella dovuta al campo magnetico, la quale è sempre ad angoli retti col percorso del jone, la velocità di quest'ultimo sarà costante per grandezza e per direzione. Inoltre la forza sul jone essendo ad angoli retti colla forza magnetica, non vi sarà alcuna accelerazione parallela a quest'ultima, cosicchè, in un campo magnetico uniforme, la velocità del jone determinata parallela alla forza magnetica sarà costante, e quindi la direzione in cui il jone va muovendo formerà un angolo costante con quella della forza magnetica. Sia m la massa del jone in grammi, ed r il raggio di curva del suo percorso, allora

Digitized by Google

in ogni campo magnetico, la forza nella direzione della normale sarà $\frac{mv^2}{r}$, cosicchè noi avremo:

$$\frac{mv^2}{r} = Hev \operatorname{sen} \theta,$$

donde

$$r = \frac{mv}{eH \operatorname{sen} \theta}.$$

Dacchè v e θ sono costanti quando nessuna forza elettrica agisce sul jone, fuorchè quella proveniente dal campo magnetico uniforme, ne segue che r è costante e quindi il percorso della particella sarà un'elica avvolta sopra un cilindro circolare che abbia il suo asse parallelo alle linee di forza magnetica. Il diametro di questo cilindro sarà dato dal membro di sinistra di questa uguaglianza (1)

$$2r \operatorname{sen}^2 \theta = \frac{2mv \operatorname{sen} \theta}{eH}.$$

L'espressione per la forza dimostra che essa cambia segno, od in altre parole essa diventa di direzione opposta, se il segno o di e o di H è cambiato — vale a dire, se la carica è cambiata da una positiva ad una negativa, o viceversa, oppure se la forza magnetica è invertita nella sua direzione: ma non già se entrambi questi cambiamenti hanno luogo simultaneamente. Il risultato di tale inversione di direzione della forza sarà evidentemente di invertire la direzione nella quale la particella avvolge le sue spire attorno alla linea di forza, od in altri termini, di cambiare un'elica destrorsa in una sinistrorsa, o viceversa: ma non influirà nè sulla grandezza nè sulla direzione della velocità parallela alle linee di forza. Nel caso speciale di una particella proiettata ad angoli retti alle linee di forza, l'elica si raggricchierà riducendosi in un circolo il cui diametro è $\frac{2mv}{eH}$, cosicchè la particella ritornerà al punto dal quale essa è stata originariamente proiettata.

Quando il campo magnetico non è uniforme, per modo che le linee sono curvate, invece di essere delle rette parallele, la considerazione

(1) Sir G. STOKES, *Resoconti della Società Reale*, marzo 1876.

Digitized by Google

di vari casi semplici dimostra che il moto del jone, o particella carica, ancora tenderà a seguire le linee di forza in curve di un carattere elicoidale, ma in aggiunta a questo vi sarà, in alcuni casi, una direzione generale delle particelle.

Nell'anno 1897 Sir J. J. Thomson riuscì a misurare la ragione di carica di un jone in rapporto alla sua massa nel caso di particelle cariche negativamente di un raggio catodico (v. pag. 127). Col misurare la deviazione delle particelle in un campo magnetico uniforme colle sue linee di forza ad angoli retti coi percorsi dei joni, egli determinò, in primo luogo, il valore del rapporto e/mv. Allo scopo di determinare v, due lastre metalliche furono fissate nel tubo parallele entrambe alle linee di forza magnetica ed al percorso non deviato delle particelle, e le lastre furono mantenute ad una nota differenza di potenziale col connetterle ai serrafili di una batteria.

Un campo elettrico fu prodotto in questa maniera colle sue linee di forza ad angoli retti sia colle linee di forza magnetica, sia colla direzione, non disturbata, del moto dei joni. La forza elettrica di valore numerico E dovuta a questo campo tendeva a deviare il jone con una forza Ee, agente nella stessa linea retta della forza elettrica Hev, dovuta al campo magnetico. Le lastre furono congiunte colla batteria in tal guisa che queste due forze agissero in direzioni opposte, ed uno dei due campi veniva regolato finchè essi si pareggiassero precisamente l'un l'altro, come si vedeva dal non prodursi deviazione. Questo dava:

$$Ee = Hev$$

ossia

$$v = \frac{E}{H}.$$

Questo determinava v e quindi anche il rapporto e/m, dacchè e/mv era di già conosciuto.

Quando nel tubo si era fatto il vuoto ad un altissimo grado, per modo da eliminare l'effetto della viscosità del gaz nel resistere al moto dei joni, furono ottenuti dei valori di v elevati come 60.000 miglia al secondo — pressochè un terzo della velocità della luce. In altri esperimenti con tubi in cui il vuoto era meno perfetto, i valori di v furono ottenuti tanto bassi come 5000 miglia al secondo, ma in tutti i casi le velocità erano parecchie migliaia di volte la velocità media delle molecole d'i-

Digitized by Google

drogeno ad ogni temperatura ottenibile, e quindi esse erano molto più grandi della velocità di ogni corpo moventesi fin qui conosciuto (1).

Il valore e/m è stato trovato essere affatto indipendente dalla velocità, qualunque sia la sorgente delle particelle, eccetto che in casi in cui sono ottenute rapidità approssimantisi a quella della luce, quando, come noi vedremo più tardi, altre considerazioni devono essere tenute in conto. Quel valore era pure affatto indipendente dalla natura del gaz nel tubo o dalla natura dei materiali impiegati come elettrodi. Il valore di quel rapporto è stato trovato essere circa 1700 volte quello del jone di idrogeno nell'elettrolisi ordinaria.

La determinazione del rapporto per joni positivi è molto più difficile, dacchè l'effetto del campo magnetico nel loro caso è di gran lunga più piccolo, e quindi devono essere impiegati dei campi molto più forti. Delle misurazioni fatte da Wien e da Sir J. J. Thomson sovra joni positivi, ottenute con metodi molto differenti, hanno dimostrato che il rapporto in questo caso è dello stesso ordine di quelli osservati nell'elettrolisi liquida.

Le velocità dei joni negativi nei gaz a pressione molto bassa sono molto più alte che quelle dei joni positivi, in qualche caso raggiungendo esse la rapidità di circa metà della velocità della luce, ed esse non sembrano variare colla natura del gaz o degli elettrodi; mentre queste condizioni sembrano influenzare la velocità dei joni carichi positivamente e moventisi immensamente più lentamente.

Sorge ora la quistione se il grande eccesso del rapporto della carica alla massa nel caso di joni gazosi carichi negativamente, al disopra di quello trovato per i joni dovuti all'elettrolisi liquida, sia dovuto ad una differenza nelle cariche, oppure nelle masse, oppure in entrambe. A tale quistione è stato altresì risposto da sir J. J. Thomson, il quale nel 1898 e 1899 fece delle determinazioni del valore della carica negativa del jone gazoso, prodotto nel primo caso da raggi Röntgen, e nel secondo caso da raggi di luce ultra violetta. Il metodo era fondato sovra l'osservazione fatta nel 1897 da C. T. R. Wilson, che i joni gazosi,

---

(1) I più recenti lavori di Jean Perrin hanno dimostrato che la molecola d'idrogeno alla temperatura del ghiaccio in fusione (273° T. assol.) avrebbe una velocità media di traslazione di 1769 m. al secondo, ossia poco più di 1 miglio. (*Nota dei traduttori*).

Digitized by Google

tanto positivi quanto negativi, agiscono come nuclei per la condensazione di umidità, formando nuvole, anche nell'aria affatto scevra da pulviscolo.

Il metodo consisteva nel formare una nube in un gaz libero di polvere, contenente dei joni liberi, col saturarlo di vapori d'acqua, raffreddandolo con una espansione leggera subitanea, e quindi osservando il rapporto di caduta delle goccie attraverso il gaz. Quest'osservazione coll'aiuto di un teorema dovuto a sir Giorgio Stokes, che stabilisce una relazione tra il rapporto di caduta di una goccia d'acqua con il suo raggio e colla viscosità del gaz, ha dato, essendo nota l'ultima quantità, il volume della goccia. La quantità di acqua depositata da ciascun centimetro cubico di gaz fu allora determinata coll'aiuto della teoria termodinamica, e questa diede il numero di goccie, donde il numero di joni per ogni centimetro cubico. Ora, conoscendo quest'ultima quantità, ed anche la velocità dei joni sotto la forza elettro-motrice dell'unità la carica di un jone poteva essere dedotta dalla misurazione della corrente portata da questi joni attraverso ciascuna unità di area sotto l'azione di una data forza elettro-motrice.

Il risultato ottenuto in ciaschedun caso fu che la carica è la stessa del jone dell'idrogeno nell'elettrolisi di un liquido, dal che segue che la massa del jone gazoso caricato negativamente è soltanto una millesettecentesima parte della massa di un atomo d'idrogeno, che era la minima parte di materia sin qui riconosciuta (1). Le piccole differenze osservate tra le velocità dei joni positivo e negativo in gaz dove la pressione non è oltremodo bassa indicherebbe che in tali casi i joni carichi negativamente diventano attaccati alle molecole ordinarie del gaz.

Un numero di determinazioni del rapporto e/m, e essendo espresso in unità elettrostatiche, invece di unità elettro-magnetiche, ha dato dei valori numerici varianti fra 7.6×10^6 e 1.865×10^7, cosicchè il rapporto è una quantità dell'ordine 10^7, m essendo espresso in unità C. G. S. (cm. gr. sec.). Sir J. J. Thomson trova che il più probabile valore di e sia circa $3.4 + 10^{-10}$ unità elettrostatiche C. G. S. La carica sovra un atomo di idrogeno nell'elettrolisi ordinaria, calcolata da dati

(1) Dalle più precise misurazioni di Classen, Cotton e Weiss, quel rapporto sarebbe di 1830 invece di 1700. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

sperimentali elettrolitici, per mezzo dell'aiuto di varie presunzioni circa la natura delle molecole, in armonia coi principii della teoria cinetica dei gaz, è trovato stare tra i limiti 1.29×10^{-10} e 6.1×10^{-10}, cosicchè il valore di e può essere identificato colla carica portata dall'atomo di idrogeno nell'elettrolisi ordinaria. Espresso in unità elettromagnetiche e è dell'ordine 10^{-20}, il suo più probabile valore essendo 1.2×10^{-20} unità C.G.S.

Il metodo più agevole di conseguire una padronanza generale dei vari ed interessanti fenomeni accompagnanti la scarica di elettricità attraverso i gaz è di classificarli secondo il metodo di jonizzazione impiegato. Io procederò quindi adesso a considerare i più importanti di questi metodi in particolare.

Jonizzazione per mezzo di solidi incandescenti. — Molto tempo fa, cioè nel 1725, Du Fay scoperse che l'aria in prossimità di metalli incandescenti al color rosso è conduttrice d'elettricità; e Becquerel avvertì nel 1853 che la conducibilità era molto largamente aumentata quando il metallo veniva portato dal calore rosso a quello bianco. Nel 1873 il professore Guthrie fece l'importante scoperta che vi è una differenza a questo riguardo tra elettrizzazione positiva e negativa, una palla incandescente al calor rosso essendo capace di ritenere una carica negativa, ma non una positiva, mentre una palla incandescente al bianco non può ritenerne alcuna. Nel 1882 Elster e Geitel pubblicarono la prima di un'accurata serie di ricerche sulla jonizzazione prodotta da solidi incandescenti, ed essi ed altri osservatori trovarono che l'elettrizzazione risultante prodotta su lastre metalliche vicine dipendeva dalla natura e temperatura del filo incandescente adoperato, ed anche dalla natura e dalla pressione del gaz circostante. Fu trovato che la jonizzazione è limitata ad uno strato di gaz circondante immediatamente il solido incandescente.

Osservazioni, fatte con platino e carbone quali sostanze incandescenti, dimostrano che la formazione di joni positivi comincia ad un calore rosso cupo, e che essi aumentano in numero a misura che si innalza la temperatura. I joni negativi fanno la prima loro comparsa ad un calore giallo brillante, e il loro numero cresce più rapidamente di quello dei joni positivi, finchè ad altissime temperature i numeri dei joni positivi e negativi sono uguali. Il fatto osservato che il rapporto della carica di un jone negativo alla sua massa è lo stesso come nei casi considerati dapprima in questo capitolo dimostra che gli stessi corpuscoli, come

Digitized by Google

Sir J. J. Thomson li denomina (essi sono ora più generalmente conosciuti come elettroni), sono i portatori. Nel caso di joni positivi, d'altra parte, i portatori sembrano consistere principalmente di molecole, od anche piccole masse, emesse per desintegrazione della sostanza incandescente, coll'aggiunta, secondo tutta probabilità, di molecole di gaz assorbiti espulse dall'interno.

Jonizzazione per mezzo di fiamme. — Il fatto che i gaz provenienti da fiamme agiscono come conduttori era già conosciuto al tempo di Volta, il quale, nei suoi esperimenti sull'elettricità per contatto, faceva uso di quel fatto per effettuare la scarica della superficie di un corpo non conduttore elettrizzato, col passarlo attraverso una fiamma. Tanto l'alta temperatura quanto la combinazione chimica sono entrambe richieste per la jonizzazione per mezzo di fiamme. Quindi, per esempio, nessuna jonizzazione è prodotta da fiamme di bassa temperatura, come è quella di un etere (1). L'introduzione di vari sali metallici in una fiamma è ravvisata come una causa di grande aumento nella jonizzazione.

Jonizzazione per mezzo della luce. — La scoperta dell'effetto della luce, specialmente dei raggi ultra-violetti, nel produrre la jonizzazione, ebbe origine da un'osservazione fatta da Hertz nel 1887, nel corso delle sue classiche ricerche sulle onde elettriche, che l'incidenza di luce ultra-violetta sopra un campo di esplosione di scintille facilitava il passaggio delle scintille. Questo condusse ad una serie di ricerche di Hallwachs, Hoor, Righi, e Stoletow, nelle quali fu dimostrato che una superficie di zinco, pulita di fresco, acquistava una carica positiva se sottoposta alla radiazione ultra-violetta, il circostante gaz diventando in pari tempo negativamente elettrizzato. Quando lo zinco veniva caricato dapprima negativamente questa carica era rapidamente perduta; ma quando la carica era positiva non aveva luogo alcuna perdita. I raggi ultra-violetti possono essere prodotti da una lampada ad arco, dalla combustione del magnesio, o dal rocchetto d'induzione di Rumkorff tra due elettrodi di zinco o di cadmio. G. C. Schmidt ed O. Knoblauch dimostrarono che un grandissimo numero di sostanze

(1) Qui non trattasi dell'*etere*, o fluido perfetto di cui parlasi nel Capo IV, ma degli eteri, sostanze chimiche ben definite, estremamente volatili ed infiammabilissime. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

esibiscono simili fenomeni foto-elettrici, ed Elster e Geitel trovarono che i metalli maggiormente elettropositivi perdono delle cariche negative anche alla luce diffusa giornaliera. Nel caso del sodio e del potassio, essi trovarono che la luce di una lampada a petrolio è efficace per produrre la scarica, e che, nel caso del metallo ancor più elettro-positivo, il rubidio, la scarica è prodotta anche dalla luce emessa da una bacchetta di vetro riscaldata al calor rosso cupo. Egli è meritevole di nota eziandio che la luce di una lampada a petrolio sia sufficiente per cagionare un sensibile accrescimento nella conducibilità del vapore di sodio, il che significa che vi è un sensibile ammontare di jonizzazione.

Scarica di scintille. — È stato osservato da Faraday che è richiesta una maggiore differenza potenziale per far partire la prima scintilla anzichè per conservare in seguito la scarica, e più recentemente Sir J. J. Thomson ha dimostrato che quando un gaz è molto accuratamente disseccato esso può esser fatto resistere ad una differenza di potenziale tre o quattro volte più grande di quella che è sufficiente per produrre una scarica in condizioni ordinarie; ma quando è passata una scintilla, la D. P. cade al valore per il gaz umido, ed essa non può essere rialzata al suo primitivo ammontare finchè il gaz non sia stato lasciato in riposo per alcuni minuti. La più grande D. P. che possa essere sostenuta dai poli per un tempo indefinito senza produzione di scintille è conosciuta come *potenziale delle scintille*. Se una D. P. appena eccedente il detto potenziale delle scintille è applicata ai poli, vi possono ancora intercedere più di parecchi minuti prima che passi una scintilla. Questo intervallo, che è denominato il *ritardo*, diminuisce a misura che la D. P. aumenta. Egli è affatto evidente, come Jaumann ha osservato nel 1895, che durante quest'intervallo qualche processo deve andare sviluppandosi nel gaz, processo che ha per effetto di trasformarlo in stato di buon conduttore. Thomson ha suggerito che questa trasformazione possa essere effettuata per mezzo di joni, i quali sotto l'influenza di un campo elettrico producente la scintilla, acquistano una velocità sufficiente per jonizzare le molecole del gaz, colle quali essi vengono in collisione. — Secondo questa veduta, il *ritardo* è l'intervallo durante il quale e joni e corrente sono in continuo aumento, fintantochè non sia raggiunto uno stato costante, accompagnato dalla scarica di scintille, ed è evidente che il *ritardo* sarà diminuito da ogni agente che aumenterà il numero dei joni negativi presenti nel gaz, come, per esempio, raggi ultra-violetti urtanti contro l'elettrodo negativo.

Digitized by Google

È stato trovato sperimentalmente che il potenziale delle scintille è approssimativamente proporzionale alla lunghezza di scintilla, a meno che quest'ultima sia minore di un certo valore, che è stato denominato *lunghezza critica di scintilla*. Se la lunghezza di scintilla cade al disotto di questo punto critico, che è ritenuto essere inversamente proporzionale alla pressione del gaz, il potenziale delle scintille si innalza per un certo tempo, e quindi cade rapidamente a misura che la lunghezza di scintilla costantemente diminuisce. Se la lunghezza di scintilla è mantenuta ad un valore costante alquanto al disopra del punto critico, e la pressione, partendo da quella dell'atmosfera, viene costantemente diminuita, il potenziale delle scintille cade rapidamente ad un valore minimo, e poscia incomincia ad aumentare, ma con una ragione molto più bassa che quella della diminuzione.

Paschen, nel 1889, giunse sperimentalmente alla conclusione, che il potenziale delle scintille dipende solamente dal prodotto della pressione del gaz e dalla lunghezza di scintilla, cioè, dalla massa del gaz compressa tra la unità di area degli elettrodi. Lo stesso risultato può essere ottenuto mediante l'aiuto di considerazioni derivate dalla teoria cinetica dei gaz, dalla teoria di Sir J. J. Thomson della jonizzazione mediante contatto.

La D. P. richiesta per produrre una scintilla di una data lunghezza è in generale indipendente dal materiale degli elettrodi, sebbene alcuni osservatori siano giunti alla conclusione che le scintille passano più facilmente tra elettrodi d'alluminio (e forse questo può anche applicarsi al magnesio) che tra elettrodi di altri materiali.

Scarica da punte. — La vigoria della forza elettrica che tende a scaricare l'elettrizzazione da un conduttore carico è massima nella parte di quello più acuminata, ed è la minima nella parte sua più rotonda, cosicchè la scarica avrà principio da quella parte dove il conduttore è più acuto. Il metodo più conveniente per esperimentare la scarica da punte è quello di far uso di un elettrodo acutissimo, come ad esempio un ago, facendo l'altro di un'area considerevole — per es. una superficie piana. Allora, nel caso di pressione atmosferica ordinaria, gli effetti luminosi sono osservati soltanto nella vicinanza della punta, e la corrente attraverso le altre parti del gaz è portata intieramente da joni dello stesso segno di quello della carica dell'elettrodo aguzzo. Se quest'ultimo è perpendicolare a qualche piano, si trova che, acciocchè l'elettricità possa scorrere dalla punta, il suo potenziale deve differire da quello del piano di una certa quantità, che Röntgen ha denominato

Digitized by Google

il *potenziale minimo*. Il potenziale minimo dipende dall'acutezza della punta, dalla pressione e dalla natura del gaz, e dal segno di elettrizzazione della punta, essendo minore quando la punta è elettrizzata negativamente di quando essa è elettrizzata positivamente. Warburg ha mostrato che esso è indipendente dalla distanza tra la punta ed il piano, ma la grandezza della corrente che passa per una data D. P. diminuisce rapidamente coll'aumentare della distanza tra la punta ed il piano. Sir J. J. Thomson suggerisce che, quando il campo elettrico alla punta giunge ad una certa intensità, una corta scintilla probabilmente passa tra l'elettrodo acuto e l'aria circostante ad esso, e che sono prodotte entrambe le qualità di joni, positivi e negativi, da questa scarica lungo la linea del suo percorso, che questi joni i quali hanno lo stesso segno dell'elettrizzazione della punta sono allora spinti dalla prossimità della punta nel gaz circonvicino, ed infine, sotto l'influenza del campo elettrico, trovano la loro strada verso la lastra di metallo sulla quale la punta si va scaricando.

Quando questi joni hanno raggiunto una velocità proporzionale alla forza elettrica che agisce sopra di essi, la forza meccanica che agisce su di essi sarà trasferita all'aria attraverso alla quale essi stanno muovendo, e così danno origine a correnti d'aria che partono dalla punta — un fenomeno che è stato per lunga pezza conosciuto sotto il nome di vento elettrico.

Questo moto in avanti dell'aria è accompagnato da una reazione sulla punta tendente a spingerla all'indietro. Arrhenius ha dimostrato nel 1897 che per una data corrente, ed una punta elettrizzata positivamente, la reazione è proporzionale alla pressione del gaz, e che, per gaz differenti alla stessa pressione, essa varia come la radice quadrata del peso molecolare del gaz. Egli trovò che la reazione nel caso di una corrente eguale di elettricità negativa, era molto minore, la differenza crescendo rapidamente a misura che la pressione del gaz veniva diminuita; per esempio, ad una pressione di 0,70 cm. di mercurio, la reazione sulla punta positiva era 1.9 volte più grande di quanto lo fosse sulla negativa, mentre, quando la pressione era ridotta a cm. 5.1 la reazione era 15 volte più grande.

Questi risultati sono evidentemente dovuti alla massa relativamente piccola dei joni negativi paragonata con quella dei joni positivi, l'effetto dei quali sulla velocità aumenterebbe necessariamente con rapidità

Digitized by Google

col diminuire della resistenza viscosa del gaz, cagionata dalla diminuzione di pressione.

L'arco elettrico. — Se un circuito contenente due pezzi di carbone in contatto l'uno coll'altro è attraversato da una corrente sufficientemente vigorosa — la quale dev'essere maggiore se maggiore è il diametro degli elettrodi di carbone — la resistenza al punto di contatto può diventare sufficiente per innalzare al calor rosso i carboni, od anche sino al calor bianco.

Se essi vengono separati di una corta distanza, si formerà tra di essi un arco di luce; e se la sorgente d'elettricità impiegata è sufficientemente potente per mantenere una D. P. di 50 o 60 volts tra i poli dopo la loro separazione, quest'arco si conserverà, e nel tempo istesso gli elettrodi di carbone abbrucieranno gradualmente.

Il calore intenso e la luce emessi dall'arco elettrico lo rendono di grande utilità e valore industriale per molti scopi. La temperatura dell'arco di per sè è nota per essere considerevolmente più alta che quella di ciascuno dei due elettrodi, e la temperatura dell'elettrodo positivo è considerevolmente più alta di quella del negativo: la temperatura del primo essendo, secondo Violle, le di cui misurazioni furono pubblicate nel 1892, circa 3500° C., e quella dell'altro circa 2700° C. L'estremità dell'elettrodo positivo tosto diventa scavata sotto forma simile ad un cratere, mentre quello negativo diventa aguzzo; ed il polo positivo perde del peso molto più rapidamente di quello negativo, per modo che, se gli elettrodi sono formati di bastoncini di carbone della stessa lunghezza e stesso diametro, quello positivo si consumerà molto prima di quello negativo. La temperatura del cratere, quando è formato, si è trovata essere costante, ed è usualmente considerata essere quella a cui il carbonio si volatizza; l'effetto dell'aumentare la corrente è solamente quello di aumentare la dimensione del cratere. Quando la corrente viene aumentata oltre certi limiti, si è verificato esservi una caduta di tensione di qualche 8 a 10 volts nella D. P. tra gli elettrodi, e quando questo accade un suono sibilante è dato dall'arco, che può anche svilupparsi sino a divenir muggito, quando l'aumento di corrente è sufficientemente grande. La signora Ayrton ha dimostrato che l'arco comincia a sibilare quando l'incandescenza dell'anodo si allarga oltre il cratere e si estende sui fianchi della verga di carbone. In tali circostanze, il carbone incandescente non è più oltre protetto completamente dall'ossidazione per mezzo del vapore di car-

Digitized by Google

bonio, così che la parte incandescente diventa rapidamente ossidata dall'aria.

Mrs. Ayrton ha trovato che, quando l'arco era formato in un recipiente chiuso, l'aumento nella corrente cessava di produrre il suo effetto sibilante, tosto che la combustione dell'ossigeno nel recipiente era completa, e che, all'introduzione di nuovo ossigeno nel recipiente, il sibilo ricominciava immediatamente. Nella fig. 4, che è tolta da disegni fatti da Mrs. Ayrton (1), *a* e *b* illustrano l'aspetto degli elettrodi coll'arco silenzioso, e *c* e *d* coll'arco sibilante. Sir J. J. Thomson nella sua teoria della scarica dell'arco dice che essa è simile a quella che ha luogo tra due poli mantenuti indipendentemente in istato d'incandescenza. Secondo questo suo modo di vedere, il bombardamento del catodo dai joni positivi

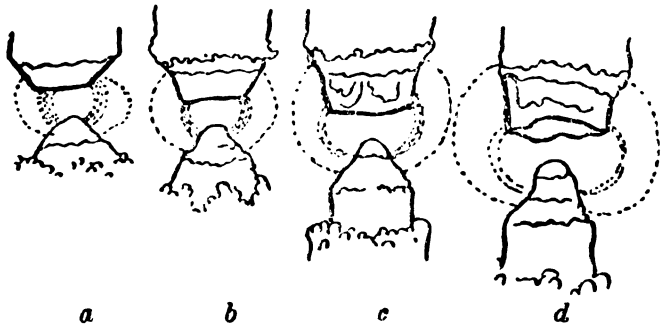


Fig. 4.

mantiene la temperatura di quello ad un così alto grado da esser causa della continua emissione di joni negativi dal catodo. Questi joni negativi viaggiano cotanto più rapidamente dei joni positivi, all'alta temperatura dell'arco elettrico, che essi portano la parte della scarica di gran lunga maggiore, ed oltre al bombardare l'anodo, e mantenere così la sua incandescenza, essi jonizzano il vapore di carbone emesso dall'anodo, o direttamente per collisione, o indirettamente col riscaldare l'anodo, ed in questa maniera essi mantengono la provvista di joni positivi che conservano alta la temperatura del catodo. Secondo questa spiegazione, la caratteristica essenziale della scarica è il catodo rovente, che ha da fornire i portatori della più gran porzione della scarica. Egli è

(1) Mrs Ayrton. *Journal Inst. Electrical Engineers*, XXVIII. p. 400. 1899.

Digitized by Google

anche necessario per l'anodo di essere conservato in uno stato di incandescenza, poichè altrimenti esso non potrebbe conservare la provvista di joni positivi che mantiene la temperatura del catodo; ma se la temperatura del catodo fosse conservata con altri mezzi, la corrente continuerebbe a passare, anche se l'anodo fosse lasciato diventar freddo. Alcune esperienze fatte nel 1890 dal professor Fleming mostrano essere questo il caso. Per mezzo di un terzo carbone esploratore, che formava, con uno degli elettrodi, un circuito indipendente contenente una sorgente separata di elettricità, egli ha dimostrato che una corrente può essere mantenuta tra un catodo rovente ed un anodo freddo, ma non già tra un freddo catodo ed un anodo caldo.

Se i due elettrodi sono formati di materiali differenti, la D. P. può dipendere dalla direzione della corrente; più specialmente è questo il caso quando uno di essi è un metallo e l'altro è un carbone. Un tale arco è conservato molto più facilmente quando il carbone è il polo negativo, ed il metallo quello positivo, che quando essi sono invertiti. Vi è pure gran divario tra metallo e metallo, rispetto alla formazione dell'arco, quando essi sono usati come elettrodi; quindi, ad esempio, nel caso di ottone, cadmio, e bismuto, l'arco può soltanto essere mantenuto con grande difficoltà.

L'arco può essere deviato per mezzo di un campo magnetico nel modo esattamente identico come se esso fosse un conduttore flessibile che porta una corrente. Il risultato di tale deviazione è evidentemente l'aumento di lunghezza dell'arco, ed appunto come l'arco può essere estinto coll'accrescimento della lunghezza, così esso può essere spento per mezzo di un vigoroso campo magnetico.

Scarica in tubo vuoto. — Quando una scarica elettrica attraversa uno spazio occupato da un gaz a pressione molto bassa, l'aspetto della scarica presenta delle differenze molto evidentemente spiccate a differenti punti del suo percorso, com'è dimostrato nella fig. 5, la quale è un'illustrazione tipica della scarica in ciò che comunemente è detto un *tubo vuoto* — cioè un tubo ripieno di un gaz molto rarefatto, e guernito di elettrodi terminali, A e C, tra i quali passa la scarica. Un sottile strato luminoso si osserva sulla superficie del catodo C, e stendendosi oltre questa lungo il tubo vi è uno spazio comparativamente scuro, che è usualmente noto col nome di spazio scuro di Crookes. L'estensione di esso aumenta a misura che vien scemata la pressione del gaz, ed esso è pure aumentato sino ad un certo limite coll'aumento della corrente.

Digitized by Google

La forma del limite ulteriore di questo spazio scuro dipende da quello del catodo, coincidendo approssimativamente colle superfici tracciate da una serie di perpendicolari di lunghezza costante alla superficie del catodo. Al di là dello spazio scuro di Crookes vi è una regione luminosa, nota come « la luce negativa » la quale è seguita da un secondo spazio scuro, generalmente noto come lo spazio scuro di Faraday. A partire dall'ultimo limite dello spazio di Faraday, e procedendo verso l'anodo A, trovasi un'altra regione luminosa conosciuta col nome di « colonna positiva », la quale occupa di gran lunga la maggior parte del tubo, eccetto quando questo è molto corto. Quando la pressione e la corrente sono entro certi limiti, questa colonna è frazionata in zone alternate scure e brillanti, conosciute come strie, e che sono indicate nell'illustrazione.

Fig. 5.

La forza elettrica in ogni parte di un tubo vuoto durante la scarica può essere misurata da una coppia di elettrodi secondari, assestati per modo che essi possano esser mossi in posizioni diverse entro il tubo, sempre rimanendo l'uno dall'altro alla stessa piccola distanza fissa, misurata parallelamente alla lunghezza del tubo. Allora, purchè le condizioni sieno tali che vi sia un abbondante fornitura di joni tanto positivi quanto negativi nella vicinanza degli elettrodi secondari, questi rapidamente assumeranno il potenziale del gaz in contatto con essi, e la forza elettrica può essere determinata col misurare la loro differenza potenziale. È stato trovato in questo modo che la forza elettrica è grandissima nello spazio scuro di Crookes, che essa diminuisce rapidamente verso la luce negativa, giungendo ad un valore minimo ad un punto che giace o entro la luce negativa, o nella parte dello spazio scuro di Faraday appena fuori di quella. La forza elettrica di poi aumenta sino all'incontro della colonna positiva. Nell'assenza di strie, essa rimane costante attraverso a tutta la colonna positiva nei gaz puri; ma nei gaz impuri o gaz misti vi possono essere variazioni considerevoli, e la presenza di strie cagiona una serie di fluttuazioni al disopra e al disotto del valore medio in ogni parte della colonna. Vicinissimo all'anodo vi è una subitanea caduta di potenziale, conosciuta col nome di caduta di potenziale dell'anodo, che dà origine ad una grande forza elettrica.

Digitized by Google

Sir J. J. Thomson ha mostrato che questi fenomeni possono essere spiegati soltanto con il campo elettrico in prossimità del catodo stesso, che dà origine a jonizzazione, ed egli suppone che questa può essere effettuata, sia per mezzo di joni positivi, nel loro rapido moto sotto l'influenza della grande forza elettrica presso al catodo, jonizzanti le molecole di gaz, sia per mezzo di questi stessi joni positivi cozzanti contro la superficie del catodo e così comunicando allo strato di joni negativi della superficie sufficiente energia per renderli atti a fuggirsene dal metallo quando questo è portato all'incandescenza. Egli suppone pure che l'incandescenza luminosa che sprizza fuori dalla superficie del catodo possa verosimilmente essere la sede di questa jonizzazione. In ognuna di queste ipotesi circa la jonizzazione vicino al catodo, il risultato sarebbe la partenza di joni negativi dalla vicinanza del catodo, e questi devono necessariamente essere cacciati via da quello mediante la vigorosa forza elettrica, ed acquistare tosto velocità sufficiente per jonizzare il gaz attraverso al quale essi passano. Questo produrrà una provvista continua di nuovi joni positivi, che saranno attratti al catodo e vi daranno origine a maggior numero di joni negativi.

Questi joni, per causa dell'intensità del campo elettrico prossimo al catodo, lascieranno la superficie di quello con un'altissima velocità, e quindi, il numero di collisioni in una data lunghezza di percorso sarà comparativamente piccolo, cosicchè vi sarà soltanto poca jonizzazione risultante nello spazio scuro di Crookes. Aumentando la distanza dal catodo, i joni risultanti dalle collisioni tra quei joni primari e le molecole del gaz partiranno con una velocità molto più bassa, a cagione della forza elettrica minore al posto della loro origine, e quindi essi daranno origine a maggior jonizzazione. La jonizzazione sarà pertanto accresciuta rapidamente a misura che diventa minore l'intensità del campo, e presumendosi che una luminosità accompagni la jonizzazione, lo spazio scuro sarà seguito da un intervallo luminoso, cioè la luce negativa.

Dopo che la forza elettrica è caduta sotto un certo valore, i joni cesseranno presto di trattenere energia sufficiente per cagionare jonizzazione, cosicchè vi sarà un secondo spazio scuro, lo spazio scuro di Faraday, e la corrente sarà trasportata da soli joni negativi in questa parte del tubo. Questo darà una carica negativa al gaz, e quindi cagionerà l'accrescersi della forza elettrica nell'approssimarsi all'anodo, finchè di nuovo è prodotta la jonizzazione colla sua luminosità asso-

Digitized by Google

ciata ad essa, e quindi in poi vi saranno alternazioni di spazi scuri e di altri luminosi, producendo il fenomeno della striatura. Acciocchè non vi sia striatura nella colonna positiva, l'intensità del campo dev'essere tale che il numero dei joni prodotti in un tempo dato sia esattamente uguale al numero di quelli che ritornano in combinazione nello stesso tempo. L'intensità del campo, altrettanto quanto l'ammontare della jonizzazione, e quindi la luminosità, rimarrà costante, dando origine ad una colonna uniforme. Dove la forza elettrica rimane costante, vi deve essere un ugual numero di joni positivi e negativi in un dato volume del gaz, e quindi vi dev'essere un numero considerevole di joni positivi prodotti nella vicinanza del catodo. Se questi vengono prodotti nel gaz, o derivati dall'anodo, può essere matematicamente dimostrato che vi deve essere una determinata caduta di potenziale all'anodo, ed che è di già stato osservato che l'esperienza dimostra che le cose stanno realmente così.

Raggi catodici. — Il nome di raggi catodici per designare la radiazione elettrica dal catodo di un tubo dove il vuoto fosse stato fatto ad alto grado, fu dapprima impiegato da Goldstein nel 1876, quando egli credeva tuttavia che quei raggi consistessero di onde di etere. La loro scoperta può essere considerata datare dalla osservazione di Plücker, nel 1859, di una fosforescenza giallo-verdastra accosto al catodo di un tubo quasi perfettamente vuoto. Egli trovò che le chiazze di fosforescenza cangiavano la loro posizione sotto l'influenza di un magnete, ma che la deviazione magnetica differiva in carattere da quella di altre parti della scarica. Dieci anni più tardi, un allievo di Plücker, Hittorf, osservò che un'ombra ben definita poteva essere ottenuta col frapporre un corpo solido tra un catodo aguzzo ed il fianco del tubo vuoto. Egli notò altresì che l'ombra era ugualmente distinta, sia che il corpo interposto fosse trasparente, o sia che fosse opaco, un buon conduttore oppure un isolatore. Varley, come noi abbiamo veduto, suppose nel 1871 che quelle radiazioni consistessero realmente di particelle elettrizzate projettate dal catodo. Delle ricerche pubblicate da sir William Crookes nel 1879 apportarono vigorosa conferma a questo modo di vedere; ma non indussero a farla accettare dalla generalità.

Era usualmente presunto a quel tempo che, se i fenomeni fossero dovuti a particelle cariche elettricamente, queste dovessero consistere di ordinarie molecole di materia. L'indagine di Crookes mostrò che il cozzo di questi raggi sulle pareti del tubo, o sovra corpi interposti, dava

Digitized by Google

origine al riscaldamento ed alla fosforescenza, e che essi erano deviati da un magnete esattamente come se essi fossero particelle portanti cariche elettriche. Vi erano, tuttavia, numerose discrepanze tra il portamento di queste particelle e quello di ordinarie molecole gazose, e Crookes, con una antiveggenza meravigliosa, per la quale egli ricevette molto poco credito a quel tempo, designò le condizioni della loro esistenza come un quarto stato della materia. L'osservazione fatta da Hertz, nel 1892, che i raggi catodici erano capaci di penetrare in un foglio sottile d'oro o d'alluminio, veniva generalmente considerata come apportatrice di un poderoso argomento contro la teoria di Crookes. Quest'obbiezione, tuttavia, ed altre, caddero a terra colla scoperta della estrema esiguità della massa, circa la millesettecentesima parte della massa di una molecola d'idrogeno, che dovrebbe essere assegnata a coteste particelle, il che ha reso possibile di spiegare le enormi velocità loro, ed il loro grande potere di penetrare nella materia ordinaria.

Lenard, un allievo di Hertz, riuscì nel 1894 a costrurre un tubo con un'apertura guernita di sottile lastra d'alluminio, tale però da reggere alla pressione esterna dell'atmosfera quando nel tubo si praticava il vuoto; ed egli fece una serie di interessanti osservazioni sui raggi catodici dopo il loro passaggio attraverso questa finestra metallica — donde simili raggi furono spesso designati come raggi Lenard. Si trovò che questi raggi erano capaci di produrre fosforescenza col loro urtare nei corpi esterni al tubo, e di impressionare una lastra fotografica. In questi ed in altri modi l'azione dei raggi Lenard, sebbene invariabilmente molto più debole di quella dei più recentemente scoperti raggi Röntgen, è affatto simile per carattere all'azione di questi ultimi.

Raggi canali. — Se il catodo in un tubo vuoto è perforato con un certo numero di buchi, allora, purchè la pressione del gaz stia entro certi limiti, correnti luminose o pennelli di luce possono essere veduti a passare attraverso a questi buchi ed emergere dall'altro lato del catodo, cioè da quello più lontano dall'anodo. Questi raggi furono scoperti da Goldstein nel 1886, ed egli diede loro il nome di raggi canali. Essi producono incandescenza dov'essi urtano il vetro. Wien, nello stesso anno, riuscì a dimostrare che questi raggi possono essere deviati tanto da un campo magnetico quanto da uno elettrico, sebbene le deviazioni ottenute sieno oltremodo minute in paragone di quelle prodotte dai campi corrispondenti nel caso di raggi catodici. La direzione di deviazione ha dimostrato che i raggi canali consistono di correnti di particelle elettrizzate

Digitized by Google

positivamente, e la piccolezza del suo ammontare ha fatto vedere che la velocità delle particelle è di gran lunga minore di quella delle particelle dei raggi catodici. Wien ha pure misurato il rapporto della carica elettrica portata da una particella, alla sua massa, ed ha trovato che essa è dello stesso ordine di quelle delle elettrolisi ordinarie per via liquida. Sir Joseph Thomson suppone che questi raggi siano dovuti semplicemente al passaggio, attraverso la perforazione, di parti della corrente di particelle caricate positivamente, le quali per il loro cozzo sul catodo dànno origine all'emissione di raggi catodici.

Sir J. J. Thomson recentemente (*Phil. Mag.*, Mag. 1909) ha fatto una serie di determinazioni del rapporto e/m in vari gaz per le particelle costituenti i raggi canali, o raggi di elettricità positiva, se così si preferisce denominarli. Tutti i gaz esaminati hanno mostrato la presenza di due sorta di particelle, per le quali e/m ha i valori massimi, 10^4, corrispondente all'atomo d'idrogeno, e 5×10^3, corrispondente alle ordinarie particelle alfa; mentre nel caso dell'elio fu osservato un terzo genere di particelle per le quali $e/m = 2{\cdot}5 \times 10^3$. Egli fa notare che l'accordo osservato nel massimo valore di e/m per differenti pressioni mostra che desso è un vero massimo, ed esclude la possibilità dell'esservi altri raggi più deviati non vigorosi abbastanza per produrre fosforescenza visibile. Poichè, se il valore di e/m per una particella che non avesse mai perduto temporaneamente la sua carica per collisione fosse più grande che 10^4, sarebbero osservati a pressioni basse per e/m dei valori maggiori che a quelle alte.

Raggi Röntgen. — Röntgen scoperse, nel 1895, che quando in un tubo era il vuoto così perfetto che le pareti del tubo divenissero vivacemente fosforescenti durante la continuazione della scarica, dei raggi che erano propagati in linee rette erano emessi nello spazio al di fuori del tubo. Egli trovò che una lastra coperta di una sostanza fosforescente, tale come il platino-cianuro di potassio, diveniva luminosa quando era interposta sul percorso di questi raggi, e che l'interposizione di varî solidi tra il tubo e la lastra dava origine ad ombre di un'intensità grandemente variabile, la profondità e la nettezza dei contorni dell'ombra essendo più grandi, per regola generale, quanto maggiore fosse la densità della sostanza interposta: quindi, per esempio, quando una mano era collocata tra il tubo e la lastra, i contorni delle ossa diventavano distintamente visibili nelle ombre projettate sullo schermo, poichè le ossa projettavano ombre molto più intense che la carne

Digitized by Google

circostante. Quando si usava una scatola di legno chiusa contenente pezzi di metallo i contorni del metallo erano distintamente mostrati, il metallo projettando un'ombra scurissima, ed il legno soltanto una comparativamente leggiera.

Si trovò pure che i raggi impressionano una lastra fotografica, per modo che potevano ottenersi agevolmente delle fotografie di ombre. Queste fotografie sono ora usate largamente per segnalare la località precisa di palle o di altri materiali estranei entro il corpo, e per studiare le condizioni delle fratture di ossa e varî disordini di organi interni.

Aumentando il vuoto nel tubo, col richiesto corrispondente aumento nella differenza potenziale tra i suoi elettrodi, aumenta grandemente il potere penetrativo, ora generalmente detto la *durezza* dei raggi Röntgen. Questo può essere benissimo dimostrato coll'aumentare gradualmente il vuoto del tubo mentre una mano è interposta tra quello ed uno schermo fosforescente.

A misura che la pressione del gaz è gradualmente ridotta, la prima produzione di raggi sarà indicata dall'apparire di deboli accenni di ossa, questi primi raggi essendo così *dolci* che essi sono fermati dalla carne altrettanto quanto dalle ossa. Col procedere dell'esaurimento dell'aria nel tubo, il disegno delle ossa rinforza e diviene sempre maggiormente distinto; ed allora, aumentandosi ancora di più la durezza dei raggi, la nitidezza comincia a diminuire, poichè a questo grado i raggi sono atti a trapassare le ossa quanto la carne. La durezza dei raggi dipende non soltanto dal vuoto nel tubo, ma anche da altre circostanze non ancora completamente determinate; e non solamente si è trovato esistere differenze nella durezza di raggi emessi da tubi diversi, ma lo stesso bulbo emette spesso, nello stesso tempo, dei raggi che variano considerevolmente in durezza.

I raggi Röntgen hanno un effetto jonizzante, che varia entro larghi limiti per gaz differenti; e, nel caso di ciascun gaz la produzione di joni in un dato volume si è trovata essere proporzionale alla pressione. La sorgente di questi raggi è il punto in cui i raggi catodici urtano il tubo, nel caso di un tubo *focus* — cioè un tubo con un catodo concavo, ed avente una lastra fatta di una qualche sostanza non fusibile collocata al punto di convergenza dei raggi catodici — quella parte della lastra su cui questi cozzano. Similmente, quando dei raggi Röntgen urtano sopra un solido, un liquido, od anche un gaz, sono generati dei raggi Röntgen secondari. Nel caso di urto contro un solido od un liquido,

Digitized by Google

essi sono di un carattere molto meno penetrante di quelli primari. I raggi Röntgen non subiscono rifrazione nel passare da un raggio ad un altro, e non vi è evidenza che essi subiscano qualche deviazione nell'attraversare campi magnetici di intensità sufficiente per produrre grandissime deviazioni di raggi catodici.

Egli è evidente da queste considerazioni che i raggi Röntgen non consistono di correnti di particelle caricate elettricamente, e vi sono delle buone ragioni per credere che essi sono vibrazioni dell'etere prodotte da repentino arresto di particelle di raggi catodici. Noi infatti possiamo considerarli come simili per molti aspetti alle onde luminose visibili, consistendo quei raggi, come queste ultime, di forze elettriche e magnetiche ad angoli retti fra di loro e perpendicolari anche alla direzione di propagazione. Le pulsazioni o vibrazioni dei raggi Röntgen tuttavia differiscono da quelli dell'ordinaria luce per il loro difettare di un qualche carattere periodico regolare, e nell'estremamente piccola sottigliezza delle vibrazioni stesse paragonate a quelle della luce ordinaria. Sir Giorgio Stokes ha dimostrato che la piccola sottigliezza delle vibrazioni è sufficiente per spiegare com'esse non siano capaci di rifrazione, e per spiegare pure altre differenze tra i raggi Röntgen e le ordinarie onde di luce (1).

Trasmissione nei Dielettrici. — Tale conducibilità elettrica come è dimostrato dai dielettrici fu supposta essere, almeno sino ad epoca affatto recente, principalmente, se pur non intieramente di una natura elettrolitica, ma le ultimissime indagini sembrano indicare che il processo di trasmissione nei dielettrici sia simile al fenomeno corrispondente in gaz densi molto più da vicino di quanto sia simile all'andamento negli elettroliti. La base per questo nuovo punto di vista è stata provveduta dalla scoperta di P. Curie (2) che la conducibilità nei dielettrici è accresciuta dall'esposizione a radiazioni di radio, e che questa conducibilità mostra una divergenza dalla legge di Ohm, la quale divergenza naturalmente supponeva l'azione jonizzante della radiazione

(1) I più recenti studi confermano tale opinione. Delle debolissime traccie di diffrazione hanno indotto a ritenere che la loro lunghezza d'onda sia all'incirca 1000 volte minore di quella dell'estremo ultra-viola (Sommerfeld). Inoltre si è riusciti a polarizzarne una parte (Barkla, 1906, *Proc. Roy. Society*, ser. A, vol. LXXVII, pag. 247-255). (*Nota del traduttore*).

(2) *Comptes Rendus*, vol. CXXXIV, p. 420, 1902.

Digitized by Google

essere la causa di quest'aumento. Ulteriori ricerche fatte da Becquerel (1) e da Becker (2) confermarono queste conclusioni, ed i fenomeni sono stati recentemente sottoposti ad una completissima investigazione da Jaffé (3), il quale ha trovato che la corrente nei dielettrici esposti alla radiazione del radio poteva essere divisa in due parti, una delle quali obbedisce alla legge di Ohm, ed una corrente di jonizzazione che non segue codesta legge.

La prima corrente, che è probabilmente di una natura elettrolitica, appare esser dovuta intieramente alla presenza di impurità. Jaffé ha trovato essere impossibile, a dispetto delle più raffinate precauzioni, di eliminare intieramente le impurità; ma nei più puri esempi ottenibili la corrente, che segue la legge di Ohm, era ridotta ad una percentuale eccessivamente piccola del totale. La corrente di jonizzazione stessa appariva essere atta ad essere risolta in due distinte parti, l'una proveniente da joni mobili simili a quelli esistenti nei gaz jonizzati, e la quale si trovò raggiungere la condizione di *saturazione* in un campo di un migliaio di volts per centimetro; l'altra parte non dimostrava segni di saturazione in un campo di settemila volts per centimetro, e venne attribuita da Jaffé a joni moventisi lentamente, apparentemente della natura dei joni elettrolitici.

Queste conclusioni sono confermate da esperimenti eseguiti da B. Hodgson (4) su petrolio pesante, paraffina solida, vetro, ebonite, benzene, toluene, anilina e bisolfuro di carbonio, al più alto grado di purezza, essendo scartati tutti i campioni nei quali l'ordinaria corrente di trasmissione era in eccesso di 10^{-13} ampère in un campo applicato di circa un centinaio di volts per centimetro. La corrente di trasmissione era dapprima determinata prima di sottoporre il dielettrico alla radiazione di radio, e la corrente di jonizzazione era determinata col sottrarre quel primo risultato dalla corrente totale osservata sotto la influenza della radiazione. Quando il radio era applicato, veniva osservato invariabilmente un immediato e considerevole aumento nella conducibilità, e quando poi gli era consentito di agire di con-

(1) *Comptes Rendus*, vol. CXXXVI, p. 1173, 1904.
(2) *Annalen der Physik*, vol. XIII, p. 394, 1904.
(3) *Annalen der Physik*, vol. XXV, p. 257, 1908.
(4) *Phil. Mag.*, vol. XVIII, p. 252, 1909.

Digitized by Google

tinuo, la corrente era trovata crescere costantemente col tempo. Nel ritirare il dielettrico dall'influenza del radio, si trovava sempre la corrente in diminuzione, ed infine la si verificava ricadere al suo piccolo valore iniziale. Questo completo ricupero del suo potere isolatore originale da parte del dielettrico occupava un tempo considerevole — assai di più di tredici ore nel caso di un campione di paraffina.

Alcuni esperimenti furono pure fatti sull'ordinaria vaselina del commercio, la quale è stata trovata piuttosto irregolare nella sua azione. La sua conducibilità propria diminuisce rapidissimamente, ad un tal segno da nascondere completamente l'aumento dovuto alla radiazione, ammenochè sia lasciato trascorrere tempo sufficiente perchè sia raggiunto il suo proprio minimo di conducibilità prima dell'esposizione alla radiazione.

Nota a pag. 112. — Dalla definizione dell'unità elettro-magnetica di corrente, data a pag. 30-31, consegue che la forza esercitata da un elemento *ds* di una corrente C, sopra un polo magnetico *m*, ad una distanza *r* da *ds*, misurata sulla normale a quest'ultima, sarà rappresentata dall'espressione $mCds/r^2$.

Se la corrente è dovuta ad un elettrone colla carica *e*, moventesi colla velocità *v* lungo l'elemento *ds*, *Cds* sarà rimpiazzato da *ev*, cosicchè la forza magnetica al polo *m*, e quindi anche la forza esercitata dal polo sull'elettrone movente, sarà numericamente rappresentata dall'espressione mev/r^2. Donde generalmente, la forza sull'elettrone sarà $H'ev$, in cui H′ è la componente della forza magnetica al posto occupato da *e*, perpendicolare alla direzione del suo moto. Se questa componenle H′ deriva da una forza magnetica risultante H, facente un angolo θ colla direzione del moto, H′ dovrà essere sostituito da H sen θ, cosicchè la forza che agisce sull'elettrone sarà Hev sen θ, come è detto a pag. 112. Vedere pure Foster e Porter, *Elettricità e Magnetismo*, 3ª edizione, pag. 473.

Digitized by Google

CAPO VIII.

Fenomeni generali di radio-attività.

Il fatto che i raggi Röntgen furono trovati essere capaci di eccitare fosforescenza ad un grado segnalato in un gran numero di sostanze, addusse naturalmente ad investigazioni per determinare se questo fenomeno fosse generalmente associato con radiazione Röntgen.

Nei primi mesi del 1896 Henry osservò che il solfuro di zinco, il quale era stato reso fosforescente coll'esporlo alla luce del sole, oppure alla luce di combustione del magnesio, aveva il potere di agire sopra una lastra fotografica attraverso uno schermo di carta nera o di sottile foglio d'alluminio. Un poco più tardi, nello stesso anno, Becquerel ottenne una azione consimile con il solfato doppio di uranio e di potassio. Allo scopo di determinare se quest'effetto fosse dovuto a fosforescenza persistente da una previa esposizione alla luce, Becquerel dapprima disciolse qualche po' di nitrato d'uranio cristallizzato in acqua in un camerino scuro, lo fece cristallizzare nuovamente, e quindi trovò che esso agiva vigorosamente sopra una lastra fotografica. Egli ottenne pure un effetto consimile dalla soluzione di nitrato d'uranio, la quale non è fosforescente.

Becquerel pertanto conchiudeva che l'effetto fotografico non era dovuto a fosforescenza, ma fosse dovuto a proprietà inerenti al metallo uranio. Questa conclusione fu confermata da ulteriori esperimenti, in cui tanto l'uranio metallico quanto i sali d'uranio furono trovati ritenere queste proprietà dopo esser stati conservati nell'oscurità, alcuni di essi in scatole di piombo, per più d'un anno. Egli trovò pure che questa radiazione, talvolta denominata *raggi Becquerel*, produceva ionizzazione nei gaz esposti ad essa.

Digitized by Google

Noi vedremo fra breve che altre sostanze, oltre all'uranio ed ai suoi composti, sono stati trovate possedere questa stessa proprietà di emissione spontanea di radiazione capace di produrre effetti fotografici ed elettrici definiti, insieme con altri che saranno riferiti a questi ultimi. Tali sostanze son dette essere *radio-attive* ed il fenomeno stesso è noto come *radio-attività*.

Rutherford, nel 1899, pubblicò i risultati di una estesa investigazione della radiazione dall'uranio e dai suoi composti, durante la quale indagine egli scoperse che essa era composta di due parti distinte, che egli nomò « raggi alfa » e « raggi beta », rispettivamente. Questi ultimi furono trovati avere un potere altamente penetrativo, e furono di poi mostrati di essere capaci di deviazione da campo magnetico e elettrico, ed una indagine ancor più inoltrata dimostrò concludentemente che essi consistevano, come i raggi catodici, di correnti di elettroni negativi moventisi a velocità comparabili con quella della luce sebbene minori di quella. I raggi alfa, d'altra parte, furono trovati essere assorbiti da strati di materia relativamente sottili, e dapprima non apparvero essere deviabili dai campi, o magnetico o elettrico. Il loro potere jonizzante era molto più grande che quello dei raggi beta.

Più recentemente Rutherford riuscì, mediante l'adozione di metodi estremamente delicati di osservazione, a dimostrare che i raggi alfa erano capaci di deviazione dai campi magnetico ed elettrico, ma ad un grado molto minore di quello dei raggi beta. Egli ottenne pure risultati più avanzati che inducevano alla conclusione che quella radiazione consistesse di particelle comparativamente pesanti moventisi a velocità relativamente basse portando cariche positive, e consistenti, secondo ogni probabilità, di molecole di idrogeno o di elio. Nel corso di queste ultime indagini, una terza classe di raggi, ai quali fu dato il nome di « raggi gamma », fu pur scoperta. Questi raggi sono estremamente penetranti, e non sono stati trovati capaci di qualche deviazione nè dal campo magnetico nè da quello elettrico.

Nel 1898 venne scoperto da Schmidt e dalla signora Curie (indipendentemente l'un dall'altra) che il torio ed i suoi sali possedevano proprietà radio-attive simili nel loro carattere generale a quelli dimostrati dall'uranio. Investigazioni particolareggiate di Owens, Rutherford, Soddy ed altri dimostrarono che i fenomeni radio-attivi esibiti dai composti del torio erano di un carattere molto più complesso di quelli osservati nel caso dell'uranio.

Digitized by Google

Egli è stato detto che i raggi alfa ed i raggi beta emanati dall'uranio son dovuti a due distinti costituenti di questo metallo, ed i fenomeni osservati nel caso delle emanazioni del torio suggeriscono molto maggiore complessità nella composizione del metallo torio. Le scoperte di Becquerel indussero il signor e la signora Curie a fare un sistematico ed esteso esame di elementi chimici, dei loro composti e di minerali. Egli è stato solamente nel caso dei minerali che risultati coronati da successo furono ottenuti. Tutti i minerali trovati possedere proprietà radio-attive contenevano o uranio o torio, ma alcuni di essi dimostrarono di essere anche più radio-attivi che i metalli puri. Questo condusse ad un esame sistematico dei costituenti della *pechblenda*, la ganga in cui questi minerali si trovavano, e si ebbe per risultato la scoperta di tre distinti e fortemente radio-attivi metalli: il *radio* scoperto dai coniugi Curie e dal signor Bemont; il *polonio* scoperto dai coniugi Curie; l'*attinio* scoperto dal signor Debierne.

Il *radio* è chimicamente stretto congiunto del metallo bario, e quando il bario viene estratto dalla *pechblenda*, il radio rimane associato con esso, ma il cloruro di radio essendo molto più solubile nell'acqua, nell'alcool o nell'acido cloridrico di quanto lo sia quello di bario, esso può essere separato da quest'ultimo mediante cristallizzazione frazionaria. Parecchie tonnellate di *pechblenda*, o dei residui rimanenti dopo l'estrazione dell'uranio, hanno da essere trattati, per ottenere pochi decigrammi di radio. La signora Curie stima che la radio-attività del radio sia circa un milione di volte più grande di quella dell'uranio, ma appunto perchè è così grande tale rapporto, egli è oltremodo difficile di ottenere una approssimazione ad una determinazione accurata, ed inoltre, il rapporto varierà in grado considerevole secondo qual tipo, fra i tre di radiazioni, venga scelto per paragone. Per dare esempio dell'intensa attività del radio, i coniugi Curie hanno preparato dei campioni, i quali, quando son racchiusi in un tubo di piombo, di mezzo centimetro di spessore, scaricheranno un elettroscopio molto più prontamente di quanto possa essere effettuato portando dell'uranio senza nessun tegumento o viluppo a contatto dell'elettroscopio. È pur stato veduto che la velocità di qualcuna delle particelle proiettate dal radio è più grande di quanto sia stato possibile di produrre con mezzi elettrici, e, a cagione delle loro maggiori velocità il loro potere di penetrazione è molto più grande di quello dei raggi catodici.

Il *polonio* vien trovato nella *pechblenda* associato col bismuto, e

Digitized by Google

differisce da tutte le altre sostanze *radio-attive* conosciute perchè emette soltanto raggi alfa.

L'*attinio* incontrasi in associazione col *torio*, al quale sembra egli essere strettamente affine per proprietà chimiche, sebbene parecchie migliaia di volte più attivo.

Il *radio* richiede di essere maneggiato con molta circospezione, poichè, se la pelle rimane per un tratto di tempo esposta alle sue radiazioni, pur anche attraverso a convenientemente spesse coperture di metallo, si producono delle piaghe dolorose e di lunga durata.

Il cozzo di raggi radio-attivi sovra ostacoli solidi produce dei raggi secondari. Quelli ottenuti dai raggi alfa sono molto deboli, ma dai raggi beta si ottengono raggi secondari forti; e così forti sono quelli derivanti dai raggi gamma emessi dal radio, che il loro effetto sulla lastra fotografica fu trovato accresciuto in parecchi casi dall'interposizione di uno schermo metallico.

Nel 1903 P. Curie ed A. Laborde fecero la notevole scoperta che un composto di radio si mantiene da se stesso continuamente ad una temperatura di parecchi gradi superiore a quella della circostante atmosfera e, dopo fatte numerose misurazioni, essi pervennero alla conclusione che il calore emesso da una massa di radio in un'ora sarebbe sufficiente per innalzare la temperatura della sua stessa massa di acqua dal punto di congelazione al punto di ebollizione, un risultato che è stato di poi confermato da altri osservatori.

Difficilmente vi sarà luogo a dubitare, in vista di tali fatti sperimentali, che questo calore sia derivato, non già da sorgenti esterne, ma da una reale disgregazione degli atomi del radio. L'antica teoria della stabilità dell'atomo non potrebbe più oltre essere ragionevolmente conservata, ed alcune delle più recenti investigazioni nei fenomeni di radio-attività portano ancor più concludente evidenza dell'instabilità dell'atomo. Alcuni dei risultati ottenuti, in verità, appariscono praticamente ammontare ad una dimostrazione della possibilità della transmutazione dei così detti chimici elementi, così fermamente ritenuta per vera dai primitivi alchimisti, i quali, a dispetto delle molte loro stravaganze, furono i pionieri della chimica moderna.

La radio-attività è certamente una proprietà, non delle molecole delle sostanze radio-attive, ma dei suoi atomi. La ragione di emissione dei raggi è determinata dall'ammontare del solo elemento radio-attivo affatto indipendentemente da ciò che può essere la sua com-

Digitized by Google

binazione con sostanze inerti. Inoltre, è stato verificato che ampie variazioni nella temperatura non hanno effetto sulla ragione di emissione, nè questa può essere alterata da nessun mezzo chimico o fisico a noi noto. Non appare essere affatto probabile che le particelle proiettate possano acquistare le enormi velocità, che esse hanno dimostrato di possedere, per mezzo di forze chiamate ad agire al momento della disintegrazione. Se, tuttavia, noi addottiamo la storia che è stata sviluppata di sir J. J. Thomson, sir Joseph Larmor, e molti altri fisici, che l'atomo chimico è una struttura complicata fabbricata con un largo numero di particelle cariche in rapido moto orbitale od oscillatorio, noi abbiamo solo da presumere che la velocità iniziale delle particelle sfuggenti, cariche positivamente o negativamente, siano approssimativamente quelle stesse che dette particelle posseggono mentre ancora formano parte dell'atomo. L'evidenza sperimentale dimostra che le particelle alfa risultanti dalla desintegrazione del radio sarebbero praticamente assorbite tutte nell'attraversare uno strato di radio non superiore in spessore alla centesima parte di un millimetro, cosicchè la più grande parte delle particelle alfa, ed alcune almeno delle altre risultanti dalla disintegrazione degli atomi interni di una massa di radio, sarebbero fermate entro la massa stessa, e la loro energia apparirebbe quindi sotto forma di calore, come è stato osservato da sir Oliver Lodge nel 1903. Questa violenta espulsione di parti di un atomo deve necessariamente dar origine a perturbazioni elettriche molto intense entro l'atomo, e le parti residue si riassesteranno sotto le nuove condizioni in tal modo da formare un sistema che è almeno temporaneamente stabile. Questo processo sarà accompagnato da una ulteriore diminuzione nella totale energia dell'atomo, e questa perduta energia riapparirà sotto forma di calore.

Tutti i composti del radio furono trovati essere spontaneamente luminosi. La più gran parte di questa luminosità va sperduta nell'aria umida, ma essa è ricuperata nel disseccare i sali. Essa non sembra essere influenzata dalla temperatura, essendo essa altrettanto brillante alla temperatura dell'aria liquida come a quella ordinaria. Anche soluzioni di sali di radio mostrano tracce di luminosità. Quando una tale soluzione sta per cristallizzare, i cristalli possono essere chiaramente distinti nel liquido per la loro maggiore luminosità.

Una notevole proprietà posseduta dal radio, dal torio e dall'attinio, ma non dall'uranio e dal polonio, è quella di emettere continuamente

Digitized by Google

una emanazione materiale avente le proprietà di un gaz radio-attivo. Come i gaz ordinari esso può diffondersi rapidamente attraverso a gaz ed a sostanze porose, ed esso può essere separato da altri gaz coi quali esso può essere mescolato, mediante l'azione condensante di un freddo estremo. Le emanazioni da queste tre sostanze sono tutte dello stesso carattere generale, ma nel caso dell'emanazione del radio, i fenomeni sono molto più segnati, a cagione dell'attività relativamente grande di quell'elemento.

Si può impedire all'emanazione di sfuggire dalla sostanza radio-attiva col coprire quest'ultima con una sottile lastra di mica. Essa può essere asportata da una corrente di aria o di altri gaz, e può essere filtrata attraverso ad un tappo di cotone, o fatta gorgogliare attraverso a soluzioni, senza perdita alcuna di radio-attività. Il suo comportarsi è quindi molto differente da quello dei joni prodotti in un gaz dalla radiazione di una sostanza radio-attiva, poichè sottoposti a simili condizioni, quelli perdono completamente le cariche loro. In alcuni casi queste emanazioni sono continuamente emesse dalla sostanza radio-attiva nei gaz circostanti, mentre in altri casi le emanazioni rimangono assorbite entro il materiale, e possono soltanto essere rilasciate coll'azione del calore o col disciogliere la sostanza. Le emanazioni sono prodotte in quantità così estremamente minute che non è stato possibile di stabilire definitivamente la loro natura mediante gli usuali assaggi chimici. Egli è stato tuttavia dimostrato che le emanazioni rimangono inalterate nel loro ammontare nel passare attraverso a varie soluzioni acide, attraverso ad un tubo di platino riscaldato elettricamente alla più alta temperatura ottenibile, o sovra uno strato incandescente al rosso di cromato di piombo contenuto in un tubo di vetro. Le emanazioni sono state altresì filtrate senza cambiamento, portate da una corrente di idrogeno sopra polvere di magnesio incandescente al rosso, e sopra nero di palladio incandescente pure al rosso, e portate da una corrente di gaz acido carbonico, sopra uno strato di polvere di zinco al calor rosso. I soli gaz conosciuti come capaci di restare inalterati nel loro ammontare sotto tutte queste condizioni, sono i membri della famiglia dell'*argon* recentemente scoperti da Lord Rayleigh e da Sir William Ramsay come costituenti dell'atmosfera, nella quale essi si trovano solamente in minute quantità. Nelle loro proprietà essi strettamente rassomigliano all'*azoto*, ma sono anche più inerti di questo gaz.

Digitized by Google

Un'importantissima scoperta è stata fatta da Sir William Ramsay e da Mr. F. Soddy nel 1903, mentre stavano esaminando i gaz svolti da una piccola quantità di bromuro di radio che era stato conservato per molto tempo in uno stato solido. Dopo di aver eliminato l'ossigeno e l'idrogeno, un esame per mezzo dello spettroscopio rivelò la presenza di acido carbonico. Dopo congelamento di questo gaz insieme colla emanazione, il residuo si trovò dare all'esame spettroscopico una delle linee caratteristiche dell'elemento *elio*; e nel ripetere l'esperimento con ulteriore quantità di sale di radio, si trovò lo spettro dell'elio puro. Alcune ricerche ulteriori furono allora fatte all'oggetto di accertare se l'elio fosse realmente prodotto dalla disintegrazione del radio, o se l'apparire di questo spettro fosse dovuto a tracce di elio di già esistenti in associazione col sale di radio. Una quantità di emanazione fu dapprima fatta pervenire, mediante l'aiuto di puro ossigeno, in un tubo raffreddato dall'aria liquida, e quindi l'ossigeno fu assorbito, ed il tubo rimosso dall'aria liquida ed esaminato collo spettroscopio. Non potè allora essere scoperta traccia dello spettro dell'elio, ma, dopo un riposo di quattro giorni, alcune delle caratteristiche linee dell'elio apparirono. Nel quinto giorno varie altre linee note come appartenenti allo spettro dell'elio, fecero a loro volta la comparsa loro. Questi risultati dimostrano concludentemente che l'elio si è sviluppato da uno spontaneo cambiamento nell'emanazione del radio.

Sir William Dewar comunicò alla Società Britannica, nel 1908, il risultato di una lunga serie di interessanti esperimenti: egli ha trovato che l'elio è continuamente prodotto dal radio, in ragione di milligr. 0,37 al giorno da un gramma di radio.

Ulteriori evidenze di trasmutazione furono ottenute da Ramsay e da Cameron nel 1907. Essi trovarono che quando l'emanazione del radio era in contatto coll'acqua e parzialmente sciolta in essa, il gaz inerte prodotto dal cambiamento consisteva principalmente di *neon*, un gaz del gruppo dell'argon, essendo appena rinvenibile una traccia di elio. Quando l'emanazione era lasciata in contatto con una soluzione di solfato o di nitrato di rame, il principale prodotto del cambiamento era trovato essere l'argon, forse con tracce di *neon*, ma non di elio. Dopo di aver rimosso il rame dalla soluzione l'esame spettroscopico del residuo rivelò gli spettri tanto del calcio quanto del sodio, insieme colla linea rossa caratteristica del litio. Parti delle soluzioni di rame che non erano state esposte nell'emanazione non mostrarono traccia alcuna di litio.

Digitized by Google

Gli autori osservano che i gaz formati dalla disintegrazione della emanazione del radio appartengono allo stesso gruppo di elementi a cui appartiene l'emanazione stessa, ed apparirebbe come se anche il rame subisse una desintegrazione, producendo uno o più dei metalli inferiori del gruppo del rame.

In correlazione con questi risultati dovrebbe essere notato che tracce di sodio e litio sono trovate presenti nella pratica in tutte le sostanze, e che egli è oltremodo difficile cosa l'eliminarle intieramente. La signora Curie e la signorina Gleditsch hanno ripetuto questo esperimento nel 1898, ed i loro risultati le hanno condotte alla conclusione che il sodio ed il litio osservati erano probabilmente di già presenti nell'apparato o nei reagenti impiegati. La radio-attività di queste emanazioni non rimane costante, ma scema gradualmente. Rutherford e Soddy trovarono, nel 1903, che l'attività dell'emanazione del radio cadeva alla metà del suo valore entro giorni 3,71. Ramsay e Soddy, nel 1904, trovarono che il volume dell'emanazione del radio diminuiva secondo la stessa legge, e che essa cadeva a metà del suo valore in circa quattro giorni, essendosi formato in quello stesso tempo un deposito solido sulla superficie interna del tubo.

Una notevolissima proprietà del radio, del torio e dell'attinio, è il loro potere di cagionare radio-attività temporanea nei corpi vicini. Questo fu dapprima osservato nel 1899 dai coniugi Curie per il radio, e da Rutherford per il torio. Nel 1903 Debierne trovò che tal proprietà era pure posseduta dall'attinio.

Un corpo che sia stato esposto per qualche tempo alla radiazione di una di quelle sostanze, si comporta come se la sua superficie fosse coperta con una pellicola di sostanza radio-attiva, ed emette radiazioni capaci di ionizzare un gaz o di impressionare una lastra fotografica. L'effetto gradualmente sparisce colla rimozione della sostanza eccitante, il tempo del disperdimento essendo di parecchi giorni quando l'azione è dovuta al torio, ma soltanto di poche ore quando è dovuta al radio. Questa radio-attività indotta è affatto indipendente dalla natura della sostanza in cui essa è eccitata, e questo fa supporre che il fenomeno sia realmente dovuto alla deposizione di una pellicola di sostanza radio-attiva.

Questa veduta è confermata da un esperimento fatto da miss Gates nel 1903, nel quale la radio-attività indotta sovra un filo di platino fino era portata via quando il filo era arroventato sino al bianco, ed era

Digitized by Google

trasferita ai corpi circostanti. Egli è stato di poi dimostrato concludentemente che il risultato era dovuto semplicemente alla volatilità del deposito radio-attivo. L'effetto è specialmente segnato nel caso di sostanze elettrizzate negativamente.

Gli esperimenti di Wilson, e di Elster e Geitel, sulla ragione di dispersione di una carica elettrica nell'aria in circostanze variabili, descritti al principio del Capo IV, condussero quest'ultimi osservatori a supporre che i risultati ottenuti potessero esser dovuti alla presenza di materiale radio-attivo. Per esperimentare questo, un filo lungo una ventina di metri fu esposto all'aria per alcune ore ad una considerevole altezza dal terreno, e fu tenuto caricato negativamente ad un alto potenziale connettendolo con un polo negativo di una macchina ad influenza. Mediante un elettroscopio fu allora trovata aumentare grandemente la ragione di disperdimento del filo. Simile effetto non fu prodotto nel caso di un filo caricato positivamente. Si trovò che il filo perdeva la sua attività dopo un certo tempo; e quando era strofinato con una pelle inumidita con ammoniaca, l'attività era trasferita alla pelle. L'effetto era affatto indipendente dal metallo di cui il filo era formato, e misurazioni della ragione di diminuzione mostrarono che essa era dovuta al deposito attivo di emanazione di radio, che fu così dimostrato essere presente nell'atmosfera. Nel 1902 Sir J. J. Thomson dimostrò la presenza di materiale radio-attivo nell'ordinario approvigionamento d'acqua di Cambridge, e C. T. R. Wilson ottenne di render evidente consimile presenza in acqua di pioggia caduta di recente e nella neve fresca, evidentemente di materiale raccolto da quelle nella atmosfera e tratto giù con loro: nello stesso anno Elster e Geitel mostrarono che i fenomeni radio-attivi osservati in grotte erano dovuti alla presenza di materiale radio-attivo nel suolo. Nel 1906 essi trovarono che una grande quantità di emanazione radio-attiva poteva essere ottenuta sorbendo l'aria attraverso l'argilla.

Esperimenti fatti nel 1902, da Elster e Geitel in Germania, e da Rutherford e Allan nel Canadà, mostrarono che la radio-attività atmosferica non era sensibilmente influenzata da umidità, e che essa era massima con un vento forte. I due primi osservatori quindi eseguirono un esame particolareggiato, che si estese per un periodo di dodici mesi, dell'effetto delle condizioni metereologiche circa l'ammontare della radio-attività indotta ottenibile dall'atmosfera, ed essi trovarono che i valori estremi raggiunti variavano nella ragione di 16 a 1. I risultati

Digitized by Google

massimi furono ottenuti durante la nebbia, senza dubbio a cagione delle particelle di acqua che divenivano centri o nuclei per la deposizione di materia radio-attiva. L'attività era più grande a temperature più basse come pure a basse pressioni barometriche.

Delle indagini fatte da numerosi osservatori, alcuni dei quali sono ulteriormente considerati nel Capo XI, hanno ora dimostrato che il radio ed altre sostanze radio-attive sono molto ampiamente distribuite in piccole quantità per tutta quanta la terra, e che praticamente tutte le sostanze terrestri conosciute, quando vengono assaggiate con metodi sufficientemente delicati, esibiscono qualche traccia di radio-attività. La quistione se questa distribuzione universale di radio-attività possa essere intieramente spiegata colla presenza di traccie di quelle sostanze che sono conosciute per radio-attive, oppure se la proprietà di radio-attività appartenga essenzialmente a ciascuna forma di materia, è una fra quelle che destano il più grande interesse teorico per l'importanza loro. La concezione della costituzione della materia che è esposta in quest'opera ci trarrebbe a dichiarare anticipatamente che la radio-attività dimostrerà che essa è, ad un punto più o meno esteso, una proprietà di ogni forma di materia. Si dovrebbe notare che, coi nostri presenti mezzi d'investigazione dei fenomeni radio-attivi, sarebbe impossibile di ottenere una prova definita che la radio-attività in qualche forma non è una proprietà di ogni sorta di materia; come noi vedemmo nel Capo VII, che non vi è al presente nessun metodo noto a noi per scoprire la presenza di particelle alfa e beta, a meno che le loro velocità eccedano certi limiti. Per la stessa ragione noi non possiamo aspettarci, quand'anche la radio-attività fosse una proprietà universale della materia, di essere capaci di ottenere un'evidenza definita della sua esistenza nel caso di ogni sostanza esaminata. Una evidenza sufficiente è stata tuttavia di già ottenuta per fornire buoni motivi per supporre che l'emissione di raggi che possano essere osservati per radio-attivi non è in veruna guisa limitata alla classe, comparativamente piccola, di sostanze designate sotto il nome di corpi radio-attivi.

Se l'aria contenuta in un recipiente chiuso viene esperimentata circa la sua conducibilità elettrica, si osserverà invariabilmente un certo ammontare di jonizzazione. La causa la più ovvia di questo fatto è l'emanazione di radio che è sempre presente, sino ad un certo grado, nell'atmosfera. Tuttavia se questa fosse la sola causa, la jonizzazione

Digitized by Google

dovrebbe sparire nel corso di pochi giorni a cagione della disintegrazione dell'emanazione contenuta entro il recipiente. Ma così non avviene. Al contrario, quando un recipiente è riempito di aria pura, si trova che la jonizzazione aumenta per qualche tempo. Un'altra sorgente di qualche po' della jonizzazione prodotta all'interno del recipiente è il deposito attivo che deve esser formato sulla superficie esterna dall'emanazione di radio presente nell'aria esterna, poichè alcun chè di questa radiazione penetrante ad altissimo grado, emessa da quel deposito deve giungere all'interno del recipiente e dar luogo a jonizzazione. La jonizzazione che potrebbe esser prodotta in questo modo è peraltro affatto sufficiente per produrre i risultati osservati. Cookes ha dimostrato nel 1903 che anche quando l'aria era contenuta in un recipiente metallico circondato da schermi di piombo molto spessi, egli era impossibile di ridurre la jonizzazione a meno che il 30 % circa del suo ammontare normale; ed era previamente stato da lui fatto vedere, e indipendentemente da Strutt, e da M'Lennan e Burton, che l'ammontare della jonizzazione variava con il materiale del recipiente, anche quando l'interno ne era pulito con tutta cura, collo scopo di rimoverne ogni traccia possibile di deposito di radio, prima di cominciare gli esperimenti.

Questi risultati mostrarono concludentemente che parte della jonizzazione era dovuta alla radiazione emessa dal materiale del recipiente, e quindi che tutti i metalli coi quali si facevano esperimenti emettevano simile radiazione. Noi dovremmo provare che qualche po' di questa radiazione deve esser dovuta alla radio-attività del metallo di cui il recipiente è formato, se noi potessimo mostrare che le sue due altre possibili sorgenti sono insufficienti per spiegare la jonizzazione osservata. La prima di queste sorgenti sarebbe la presenza di impurità nel metallo di cui il recipiente è formato, nelle quali vi sarebbero piccole quantità di sostanze radio-attive. La possibilità della presenza di uranio in quantità sufficiente è esclusa per il fatto che esso sarebbe rivelato dai metodi ordinari di analisi chimica, e dalle ricerche fatte sovra un gran numero di metalli da sir J. J. Thomson, Righi, A. Wood, e N. R. Campbell, le quali ricerche ebbero esito negativo circa la rivelazione di traccie di qualcuna delle sostanze radio-attive, dimostrarono che la radiazione non poteva, in grado apprezzabile, essere dovuta ad una tal sorgente. Egli è vero bensì che Elster e Geitel riuscirono, con metodo raffinatissimo, a dimostrare la presenza di traccie di polonio nel piombo,

Digitized by Google

ma in quantità così esigue che per nessun modo potevano aver influenza nel nostro presente problema.

La seconda possibilità è che la jonizzazione possa essere pienamente spiegata mediante una radiazione secondaria emessa dal materiale del recipiente, ma derivante la propria energia dal cozzo di radiazione esterna sopra l'esterna sua superficie. Qui è abbondanza di evidenza il mostrare che alquanto della jonizzazione prodotta dai metalli è dovuta a radiazione di questo genere, ma egli è difficile il supporre che ciò possa spiegare l'intiero effetto, particolarmente quando il recipiente è circondato da un considerevole spessore di piombo, come negli esperimenti di Cooke. Alcuni degli esperimenti di Campbell, dianzi accennati, forniscono maggiore evidenza in sostegno dell'ipotesi che la jonizzazione è largamente dovuta alla radio-attività del metallo stesso. Egli trovò l'assorbimento della radiazione dall'aria era paragonabile a quella dei raggi alfa del radio, e, nella presunzione che la radiazione realmente fosse del tipo alfa, egli riuscì a misurare le serie dei raggi emessi da varii metalli. Si trovò che queste serie avevano un valore definito per ciascun metallo, com'era da prevedersi se la radiazione era dovuta alla radio-attività dello stesso metallo. I di lui ultimi esperimenti (*Phil. Mag.*, febbr. 1906) sul piombo, sul rame, sull'alluminio, sul zinco, sul ferro, sul platino, sullo stagno, sull'argento e sull'oro, confermano fortemente le di lui primitive conclusioni, ed appaiono provare, colla esclusione di ogni dubbio che l'emissione della radiazione jonizzante è una proprietà inerente a tutti i metalli esperimentati. Il valore definito della radiazione intrinseca assorbibile da ciascun centimetro quadrato di superficie del metallo, una quantità nota col nome di costante di Bragg, per ciascun metallo, e la sua variazione colla natura del metallo, mostra che l'emissione non può essere attribuita alla presenza di impurità radio-attive comune a tutti i metalli. Un risultato molto notevole è che, in ogni caso l'alluminio eccettuato, la penetrazione dei raggi da questi metalli fu trovata essere più grande di quella dei raggi del radio i più penetranti. Una radiazione secondaria, altrettanto quanto primaria, fu osservata in tutti i casi, salvo che coll'alluminio e col piombo.

Nulla di positivo ci è noto rispetto all'origine della desintegrazione atomica, che noi abbiamo accolta quale la causa dei fenomeni di radio-attività, ma se noi addottiamo la teoria della costituzione atomica sviluppata in quest'opera, argomento di meraviglia sarà, non già che

Digitized by Google

possa accadere desintegrazione, ma che essa non accada molto più frequentemente, perchè, ogni volta che le velocità dei sotto-atomi stanno sopportando dei cambiamenti, gli atomi devono irradiare onde di etere. La loro energia diminuirà quindi gradualmente, e vi è da aspettarsi che sistemi di elettroni rotatorii, i quali sono stabili quando si muovono con velocità sufficientemente alte, possano divenire instabili quando le velocità diminuiscono.

Un semplice e bel metodo di ottenere una dimostrazione visibile degli effetti luminosi prodotti coll'esporre dei solidi al bombardamento delle particelle alfa emesse da sostanze radio-attive fu scoperto nel 1903 da sir William Crookes, ed anche, affatto indipendentemente, da Elster e Geitel. Questo consiste semplicemente nel coprire una qualche superficie piatta conveniente con uno strato di solfuro di zinco fosforescente e coll'esporre lo schermo, così formato, al cozzo dei raggi alfa, col risultato che esso diventa brillantemente illuminato. Quando la superficie dello schermo è esaminata attraverso una lente amplificatrice, si vede che l'illuminazione non è continua, ma è dovuta ad un gran numero di distinti punti scintillanti di luce.

Sir William Crookes inventò un apparecchio semplicissimo, da lui denominato « Spintariscopio », per esibire convenientemente il fenomeno, ed ogni lettore che desideri ripetere l'esperimento da sè può adesso acquistare uno spintariscopio al prezzo di poche lire da qualsiasi negoziante di apparecchi scientifici. Un piccolo schermo di solfuro di zinco è fissato ad una estremità di un corto tubo di ottone, un piccolo pezzo di metallo che è stato immerso in una soluzione di sale di radio è quindi fissato ad una distanza di pochi millimetri da quello e lo schermo è guardato attraverso ad una lente collocata all'altra estremità del tubo. Lo schermo appare allora come un campo oscuro coperto con punti brillanti di luce che lampeggiano e spariscono con rapidità grande. Se la distanza del corpo eccitante dallo schermo è aumentata gradualmente, il numero dei punti luminosi che si possono vedere ad ogni istante diminuisce rapidamente, e quando la distanza è accresciuta sino a pochi centimetri, solo un lampo accidentale sarà veduto.

Il solfuro di zinco è estremamente sensibile ai cozzi meccanici, ed una luminosità momentanea può essere prodotta col fregare la punta di uno spillo o di un ago sulla superficie dello schermo, oppure anche col lasciare una corrente d'aria percotere su quella. Gli esperimenti fatti da Becquerel nel 1903 condussero alla conclusione che le scintilla-

Digitized by Google

zioni sono causate da irregolari clivaggi nei cristalli di solfuro di zinco, dovuti al cozzo delle particelle dei raggi alfa. Consimili scintillamenti possono essere prodotti col triturare un cristallo di detto solfuro.

L'esperimento è dei più belli, e fa vivida impressione il fatto che l'osservatore diventa testimonio oculare degli effetti prodotti dal cozzo sullo schermo di singoli atomi di materia proiettati con velocità enormi. Rutherford ha supposto che ciascun scintillamento che ha luogo quando l'emanazione di radio è in prossimità dello schermo di solfuro di zinco sia dovuto all'urto di un atomo di elio. Egli considera che l'effetto non è semplicemente meccanico, ma che una dissociazione chimica accompagni ciascun urto, seguita immediatamente da una ricombinazione e che egli è appunto a tale ricombinazione che il lampo è dovuto. In una comunicazione alla riunione di Dublino dell'Associazione Britannica nel 1908, egli descrisse alcuni esperimenti che egli aveva fatti coll'intendimento di determinare l'efficienza della trasformazione dell'energia della particella in energia luminosa. Egli ha misurato, mediante un metodo fotometrico diretto, la luminosità di uno schermo di solfuro di zinco che è stato racchiuso, insieme con 200 milligrammi di bromuro di radio, in un tubo di vetro, ed ottenne il risultato che quella stava tra le intensità di $\frac{1}{200}$ di candela ed $\frac{1}{50}$ di candela. Questo risultato darebbe all'incirca l'80 % come coefficiente di trasformazione dell'energia delle particelle alfa in energia luminosa.

Parecchie altre sostanze, oltre al solfuro di zinco, possono essere fatte diventare fluorescenti coll'azione delle radiazioni del radio e di altre sostanze radio-attive; come, ad esempio, i platino-cianuri, di cui si è discorso nel Capo VII, per esser dessi usati nello spalmarne gli schermi fluorescenti impiegati per esaminare oggetti mediante i raggi Röntgen. Della stessa proprietà sono dotati ad un grado notevolissimo i diamanti, i rubini, gli zaffiri ed alcune altre gemme, come pure dei cristalli di spato fluore (1). Alcune sorta di vetro, e parecchie altre sostanze presentarono pur esse tale fenomeno, sebben meno spiccatamente.

---

(1) Questo fenomeno viene ora denominato: *luminescenza*, e si è riconosciuto che molte sostanze sono dotate di tale proprietà, che viene pure attribuita alla risonanza dei sub-atomi di quelle sostanze, quando essi vengono eccitati dalle vibrazioni di certe radiazioni. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

I corpi che diventano fluorescenti sotto l'azione dei raggi frequentemente sottostanno ad altri cambiamenti, come i cambiamenti di colore. È stato assai presto osservato che i vetri delle bottiglie contenenti sali di radio sono divenuti gradatamente oscurati, il vetro a base di potassa diventando tinto in bruno, mentre il vetro a base di soda acquista un bel colore viola. La colorazione può essere rimossa col riscaldare fortemente il vetro (1). Cristalli di spato fluore incolori possono essere colorati mediante prolungata esposizione alla radiazione del radio, e cristalli di già naturalmente colorati in viola, in azzurro, in verde o in giallo, possono avere i colori loro intensificati o cangiati di tinta nello stesso modo. Egli è interessante notare che i cristalli colorati naturalmente, altrettanto quanto quelli colorati per esposizione in raggi radio-attivi, possono venire scolorati col riscaldarli ad una temperatura sufficientemente alta. Un fenomeno molto curioso è stato osservato nel caso di cristalli viola scuro trovati nella miniera di spato fluore nel Derbyshire. Il colore di questi cristalli è frequentemente così scuro che dei grandi cristalli appaiono quasi neri. Quando un tale cristallo è riscaldato finchè esso sia divenuto scolorato, e quindi esso è assoggettato alla radiazione di radio, esso assume una bella tinta celeste, e nel tempo stesso esso diventa fortemente fluorescente, questa fluorescenza perdurando per parecchi giorni dopo la rimozione dall'influenza dei raggi.

Il signor S. Walter, in una sua memoria sulla produzione artificiale dei rubini e di altre gemme, nel supplemento del *The Times Engineering* del 15 aprile 1908, dà un resoconto di alcuni esperimenti interessantissimi eseguiti da E. Ambrecht, nei quali quest'ultimo s'ingegnò di applicare l'effetto oscurante dei raggi di radio alla preparazione di gemme artificiali, ed un considerevolissimo successo è stato di già ottenuto in questo senso. La materia greggia impiegata consiste di cristalli incolori di corindone, comunemente noti come zaffiri bianchi, e che sono formati di alumina praticamente pura.

Fin dall'anno 1857 Gautin riuscì ad ottenere dei rubini mediante la fusione di idrossido d'alluminio, previamente inumidito con un soluzione di bicromato di potassa, per mezzo del cannello a fiamma ossidrica. Da quel tempo altri lavoratori hanno ottenuto simili risultati con una va-

(1) I frammenti di vetro incolore infissi sulle creste di taluni muri di cinta, per impedirne la scalata, a lungo andare diventano violacei per la radio-attività dell'atmosfera. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

rietà di metodi, dei quali il più meritevole d'essere rammentato è forse quello seguito da Fremy e Feil, i quali fusero alumina ed ossido di piombo insieme in un crogiuolo di quarzo ad un calore rosso brillante, e che ottennero per tal modo una massa vitrea da cui essi poterono in seguito estrarre cristalli incolori di corindone e coll'addizione di bicromato di potassa od ossido di cobalto a quei materiali, essi ottennero fini cristalli di rubini artificiali e di zaffiri, rispettivamente.

Il processo adottato da Ambrecht è di esporre i cristalli di corindone, contenuti in un cilindro d'acciaio, al bombardamento delle particelle scagliate via da una piccola quantità di bromuro di radio, racchiuso nel cilindro; i cristalli essendo di già stati prima tagliati e levigati. Nel corso di poche settimane di simile trattamento si è trovato che molti cristalli, se non tutti, hanno cominciato a colorirsi, alcuni in azzurro pallido, altri in rosa pallido, mentre la maggioranza sono usualmente giallo bruno. Le pietre sono allora separate in gruppi secondo i loro differenti colori, e ciascun gruppo è assoggettato alla prolungata azione del radio. La colorazione quindi diventa sempre più accentuata, finchè per ultimo i cristalli diventano quasi non discernibili dalle gemme naturali, rubini, zaffiri azzurri o topazi orientali, secondo come può essere il caso (1).

---

(1) Distinguasi tra fabbricazione di gemme artificiali e questa colorazione di zaffiri bianchi, identici per composizione chimica e per sistema di cristallizzazione colle gemme a colori naturali, cioè zaffiri, rubini ecc.; salvochè quelle bianche difettano di quelle traccie infinitesime di ossidi o sali metallici che colorano le altre. Non vi è adunque differenza sostanziale tra le gemme colorate naturali e quelle ottenute per mezzo del radio.

È peraltro degno d'osservazione questo fenomeno, poichè da esso risulta come la colorazione di un corpo possa talvolta avvenire senza alterazione chimica del medesimo.

Poichè il riscaldamento scolorisce permanentemente i cristalli scuri di spato-fluore, e quindi l'energia radiante ridona loro una certa colorazione, non vi sarebbe nulla di inverosimile nel ritenere che un processo e l'altro alterino le distanze intermolecolari od interatomiche, se pur non influiscono direttamente sui sub-atomi od elettroni, il che peraltro non sembra probabile.

Quanto alle distanze intermolecolari, esse non possono venir modificate senza variare le condizioni termiche del corpo, le quali variano, a loro volta, col variare della temperatura ambiente. Sembra quindi più ovvio il ritenere che le variazioni suddette, comprese le colorazioni delle gemme bianche, siano dovute a lievi modificazioni permanenti delle distanze inter-atomiche: senza alterazione di massa o di volume. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

CAPO IX.

I tre principali tipi di radio-attività.

I tre tipi di radiazioni emesse dalle sostanze radio-attive sono di tale interesse ed importanza da meritare di considerarli in modo particolareggiato.

Secondo Rutherford se il potere jonizzatore vien misurato dalla jonizzazione prodotta quando uno strato sottile di materiale radio-attivo non coperto è disteso sulla lastra inferiore di due lastre parallele distanti 5 centimetri l'una dall'altra, e che il potere di penetrazione vien misurato col paragonare lo spessore del foglio d'alluminio richiesto per ridurre la radiazione di ciascun tipo alla metà del suo ammontare iniziale, allora i relativi poteri di jonizzazione e di penetrazione saranno rappresentati all'incirca nella seguente tabella

Radiazione	*Relativo potere di jonizzazione*	*Relativo potere di penetrazione*
Raggi alfa	10.000	1
» beta	100	100
» gamma	1	10.000

dalla quale appare come il relativo potere di penetrazione stia approssimativamente nella proporzione inversa della relativa jonizzazione. Questi numeri non devono tuttavia essere considerati come rappresentanti qualche cosa di più che approssimazioni molto rozze, poichè il potere di penetrazione varia considerevolmente colla natura della sostanza radio-attiva che forma l'origine dei raggi.

Digitized by Google

Raggi alfa. — La vera natura di questi raggi non è stata determinata fino a circa tre anni dopo la scoperta fatta verso il fine del 1899, della deviabilità magnetica dei *raggi beta.* Noi vedremo che i *raggi alfa* hanno una parte molto più preponderante nei fenomeni radio-attivi di quanto l'abbiano i *raggi beta,* e forniscono la più grande parte di energia emessa sotto la forma di radiazione jonizzante. Era peraltro naturale che i raggi beta dovessero quasi monopolizzare l'attenzione degli sperimentatori nei primi stadi delle ricerche circa i fenomeni di radio-attività, a cagione del loro potere penetrativo molto maggiore, e della capacità loro di produrre fosforescenza in molte sostanze.

Rutherford, nel 1903, riuscì a dimostrare la deviabilità di questi raggi per mezzo dei campi, magnetico ed elettrico, e le di lui misurazioni hanno dimostrato che i raggi alfa consistono di particelle cariche positivamente, proiettate con una velocità pari all'incirca ad un decimo di quella della luce. Essi infatti sono di una natura simile ai raggi canali descritti nel Capo VII.

L'apparato impiegato per misurare la deviabilità magnetica era semplice ed ingegnoso. Un sottile strato di radio, di altissima attività, era disteso sopra il fondo di una profonda scatola di sezione rettangolare. I raggi da questo strato passavano all'insù tramezzo ad un certo numero di sottili lastre verticali di ottone, formanti una serie di suddivisioni parallele equidistanti attraverso alla scatola, e giungenti sin presso al fondo. Questo era effettuato col praticare delle scanalature equidistanti in un paio di lastre d'ottone, formanti i due lati opposti della scatola, e facendo scivolare le lastre sottili in queste scanalature. Il campo magnetico era applicato in una direzione parallela alle lastre sottili, e così esso tenderebbe a produrre una deviazione in una direzione perpendicolare alle lastre, per modo che una piccolissima deviazione sarebbe sufficiente per obbligare i raggi a cozzare sulle lastre ed esserne assorbiti. L'alto della scatola era coperto con un sottilissimo foglio di alluminio attraverso al quale i raggi passavano all'insù in un recipiente metallico chiuso contenente un elettroscopio a foglie d'oro della massima sensibilità, caricato negativamente, la ragione di scarica del quale misurava la jonizzazione prodotta dai raggi nel recipiente superiore. Quando il campo magnetico raggiungeva un'altissima intensità questa ragione di scarica si vedeva diminuire, mostrando che alcuni dei raggi erano trattenuti, il che poteva soltanto essere attribuito alla loro flessione sufficiente per trarli sulle lastre e farli da quelle assorbire.

Digitized by Google

Allo scopo di prevenire ogni diffusione all'insù di emanazione del radio nel recipiente d'assaggio, una corrente di idrogeno era mantenuta fluente in quest'ultimo, passando attraverso al foglio poroso di alluminio, quindi scorrendo all'ingiù attraverso le lastre di ottone, e finalmente ripassando nell'aria per una apertura praticata al fondo del recipiente inferiore. L'idrogeno era impiegato di preferenza all'aria perchè l'idrogeno assorbe i raggi alfa meno dell'aria, e la jonizzazione dovuta ai raggi beta e gamma è molto minore nell'idrogeno che nell'aria. Le parti di jonizzazione dovute ai raggi beta e gamma furono separatamente determinate e dedotte col coprire lo strato di radio con un pezzo di mica di sufficiente spessore per assorbire tutti i raggi alfa, ma senza assorbire proporzioni apprezzabili di raggi beta e gamma.

La direzione della deviazione fu determinata col chiudere a metà la sommità di ciascuna fessura, per mezzo di striscie d'ottone, tutte le striscie essendo collocate dallo stesso lato delle fessure, cosicchè vi sarebbe un assorbimento più grande quando la deviazione fosse verso i lati coperti, di quando fosse verso quelli aperti, e quindi l'ammontare dell'assorbimento varierebbe colla direzione del campo magnetico. In questa guisa si trovò che la deviazione era nella direzione opposta a quella sopportata dai raggi catodici. Come è risaputo i raggi catodici consistono di particelle caricate negativamente: questo risultato quindi dimostra che i raggi alfa consistono di particelle che portano cariche positive.

Lo stesso apparecchio e l'ugual procedimento furono impiegati per determinare la deviazione dei raggi nel campo elettrico, eccetto che le lastre di ottone scanalate furono rimpiazzate da lastre di ebonite. Quindi furono congiunte insieme lastre alternate, e furono caricate con un'alta differenza di potenziale per mezzo di una piccola batteria d'accumulatori.

Mackenzie, nel 1905, e Rutherford e Hahn nel 1906, fecero una lunga serie di indagini intorno alle radiazioni alfa provenienti da differenti sostanze radio-attive, e trovarono il rapporto della carica alla massa invariabilmente costante. Nella presunzione che la carica fosse la stessa di quella del jone d'idrogeno, questi osservatori, insieme con Des Coudres trovarono che la massa doveva essere molto approssimativamente doppia di quella di un atomo d'idrogeno, ossia la stessa di quella d'una molecola d'idrogeno.

Digitized by Google

Rutherford osservò che, se la carica fosse due volte più grande, la massa sarebbe circa la stessa di quella d'un atomo di elio, e propose la teoria che le particelle alfa fossero realmente atomi di elio portanti tali cariche. Come è stato ritenuto previamente che le cariche atomiche fossero in tutti i casi uguali a quella portata dal jone dell'idrogeno nell'elettrolisi, questa teoria non fu favorevolmente accolta dai fisici, ma alcune indagini recenti, fatte da Rutherford e Geiger, sembrano offrire una tale vigorosa conferma di questa teoria da valere quasi quanto una dimostrazione. Affatto recentemente, ma prima delle ultimissime ricerche summentovate, Bragg, Kleemann ed altri hanno mostrato che le velocità iniziali di proiezione sono, entro i limiti degli errori d'osservazione, identiche per tutte le particelle alfa emesse dalla stessa sostanza radio-attiva. Per sostanze radio-attive differenti le velocità iniziali variano tra 10.000 e 14.000 miglia per minuto secondo (1).

Le sovra accennate indagini di Rutherford e Geiger furono comunicate alla Società Reale nel giugno 1908, e l'oggetto in vista era di ingegnarsi a noverare realmente le particelle alfa emesse da una data massa di qualche sostanza radio-attiva in un tempo conosciuto. Siccome l'elettrizzazione prodotta da queste particelle poteva essere agevolmente misurata, la quistione se le particelle alfa portassero una carica singola od una doppia poteva allora essere determinata col dividere semplicemente l'elettrizzazione totale per il numero di particelle.

Se poteva essere presupposto che una, ed anzi una sola, scintillazione fosse prodotta dal cozzo di ciascuna particella alfa sopra uno schermo di solfuro di zinco, il computo potrebbe essere effettuato in questa guisa, poichè egli è agevole il disporre un esperimento per modo che le scintillazioni possano essere enumerate coll'aiuto di un microscopio. Alcune osservazioni fatte in questo modo confermarono l'ipotesi che caduna particella portasse una carica doppia, supposto che ogni particella alfa desse origine ad una scintillazione, ma ad una sola e non di più. La validità di questa supposizione appariva, tuttavia, troppo incerta perchè la conclusione fosse accettata senza una evidenza indipendente da quella ottenuta in qualche altro modo. Dopo di aver

(1) Pari a km. 16.000 e 22.500 rispettivamente. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

sormontate varie difficoltà sperimentali, Rutherford e Geiger riuscirono a far questo. Un assestamento fu immaginato per mezzo di cui le particelle alfa potevano essere sparate attraverso ad un gaz a bassa pressione esposto ad una forza elettrica altrettanto alta come poteva essere adoprata senza dar luogo a produzione di scintille. Il risultato di questa forza elettrica era l'aumento della jonizzazione parecchie migliaia di volte. Conseguentemente, la subitanea corrente attraverso il gaz, dovuta all'entrata di una particella alfa attraverso ad un sottile foglio di mica nel recipiente di assaggio, era di tanto aumentata da cagionare un balzo facilmente osservabile dell'ago di un ordinario elettrometro. I risultati così ottenuti furono pienamente d'accordo con quelli derivati dal metodo delle scintillazioni, indicando che l'uno o l'altro metodo di contare poteva essere adoperato con fiducia.

Rutherford e Royds (*Phil. Mag.*, febbr. 1909) hanno ottenuto ulteriore conferma dell'identità delle particelle alfa coll'elio, per mezzo dello sviluppo costante dello spettro dell'elio in un recipiente entro il quale erano sparate continuamente delle particelle alfa. Queste erano emesse attraverso le pareti di un tubo di vetro sottile, contenente emanazione di radio.

L'energia cinetica delle particelle alfa è enorme paragonata colle loro masse. Il suo valore per un gruppo di particelle sarebbe circa di seicento milioni di volte quella di una pallottola di fucile di una massa uguale a quella complessiva di quel gruppo, e dotata di una velocità di mille metri al secondo. Questa deve essere considerata come la principale sorgente degli effetti calorifici accennati nel capitolo precedente, come prodotti dal radio.

La jonizzazione prodotta dalle particelle alfa, dopo di aver attraversato successivamente un certo numero di fogli d'alluminio oltremodo sottili fatti con una lastra d'uguale spessore, rimaneva quasi precisamente dimezzata per ogni spessore addizionale, come è stato dimostrato da Rutherford e da Miss Brooks nel 1902: finchè essa non era ridotta a circa il 6 % del suo valore iniziale, dopo di che essa cominciava a decrescere molto più rapidamente e tosto cadeva a zero. Quando l'alluminio era rimpiazzato da altre sostanze, solide, liquide o gazose, gli esperimenti fatti da varii sperimentatori condussero alla conclusione che, con qualche notevole eccezione, questo assorbimento apparente delle particelle alfa da varii generi di materia era generalmente proporzionale alla densità della sostanza tanto quanto al suo

Digitized by Google

spessore; cioè, era proporzionale alla quantità di materia attraversata dalle particelle. I raggi beta furono praticamente eliminati temporariamente dal cloruro di radio impiegato in questi esperimenti, mediante la dissoluzione del sale in acqua e successiva evaporazione.

I mezzi i più ovvii per spiegare quest'apparente assorbimento si trovano nel ritardo delle particelle che deve necessariamente accompagnare la perdita di energia spesa nelle collisioni colle molecole della materia attraversata, le quali collisioni sono la causa della jonizzazione nel caso di mezzi gazosi. Una lunga ed accurata serie di ricerche fatte da Bragg e da Kleemann nel 1904 e nel 1905 ebbe per risultato di spiegare le anomalie apparenti che avevano stornato i primi osservatori dall'accogliere questa soluzione e li avevano indotti a suggerire varie ipotesi sperimentali. Queste anomalie furono da quelli dimostrate come dovute al fatto che il radio emette non meno di quattro distinte serie di particelle alfa aventi dei campi distinti in conseguenza delle differenti velocità iniziali di projezione. Queste sono dovute alla formazione di distinti prodotti radio-attivi, e la chiave per la soluzione della difficoltà introdotta dalla loro presenza è stata trovata nel fatto che essv potevano essere temporaneamente eliminate col riscaldare al calor rosso il sale di radio impiegato. Consimili fenomeni sono forniti dall'uranio, dal torio e dall'attinio. Dopo questa eliminazione di tutte le serie di particelle alfa, ad eccezione di una sola, l'effetto jonizzante nell'aria è stato trovato dapprima in aumento, e quindi in rapida diminuzione, a misura che aumenta la distanza dallo strato di radio. Questo era in armonia colle conclusioni a cui era pervenuto Townsend nel 1901, e confermate poi da Durach un paio d'anni più tardi, che l'effetto jonizzante di una particella moventesi raggiunge un valore massimo per una certa velocità critica, e declina se questa velocità è accresciuta oppure diminuita. È stato dimostrato da Rutherford nel 1905 che quando la velocità della singola serie di raggi alfa provenienti dal radio era ridotta al disotto del 60 % del suo valore iniziale essa non dava più origine nè alla jonizzazione nè ad effetti fosforescenti o fotografici. Noi quindi non avremmo mezzi di scoprire la presenza di particelle moventisi con velocità minore di quella anzidetta.

Rutheford (*Phil. Mag.*, genn. 1907) trova che la velocità di espulsione delle particelle alfa dalle varie sostanze radio-attive varia entro un campo alquanto ristretto, cioè tra 1.56×10^9 e 2.25×10^9 centimetri per secondo. Egli ha altresì mostrato che le particelle cessano

Digitized by Google

di dar origine a jonizzazione quando la loro velocità cade al disotto di un valore di circa 0.82×10^9 centimetri per secondo, cosicchè la velocità di espulsione varia generalmente tra due e tre volte questa velocità critica. Siccome sarebbe difficile di scoprire una particella fuggente ad una velocità inferiore a quest'ultima, egli osserva che, se la rapidità di projezione è stata solo la metà, in media, dei valori osservati, essi potevano altresì aver sfuggito ad ogni scoperta.

Si è trovato, come regola generale, che la velocità di espulsione aumenta progressivamente conforme che decresce il periodo di trasformazione, il che sembrerebbe indicare che la velocità di espulsione è la più grande per le sostanze le meno stabili. Vi sono alcune eccezioni apparenti meritevoli di nota a questa legge generale, ma Rutherford considera che esse il più probabilmente devono essere attribuite alla esistenza di due successivi cambiamenti che non sono ancor stati ben sceverati l'uno dall'altro — un cambiamento senza raggi di periodo comparativamente lungo, ed un cambiamento con raggi di periodo cortissimo. Rutherford trova che l'energia delle particelle alfa emesse dai composti di radio ha un valore medio di circa 5.9×10^{-6} erg. quella delle particelle beta raggiungendo in media il valore di circa 7×10^{-7} erg.

Raggi beta. — La deviabilità magnetica dei raggi beta fu scoperta indipendentemente, e quasi simultaneamente, nell'anno 1899 da Giesel, Meyer e von Schweidler e Becquerel

Quest'ultimo osservatore adoperò il radio, e gli altri delle miscele di polonio e di radio. Becquerel procedette a particolareggiata indagine della deviabilità dei raggi per mezzo del campo magnetico e di quello elettrico. Una lastra fotografica, involta in carta nera per impedirle di essere impressionata dalla luce, fu esposta all'azione di un sale di radio contenuto in un recipiente di piombo. In taluno degli esperimenti uno scherma di mica fu collocato sul percorso dei raggi, e diede origine ad un'ombra nettamente definita sulla lastra, mentre in altri i raggi furono fatti passare attraverso ad una stretta fenditura, della quale si formò sulla lastra una ben definita immagine. Quando un forte campo magnetico veniva prodotto, colle sue linee di forza parallele alla lastra ed alla lunghezza della fessura o della lista di mica projettante l'ombra oppure un campo elettrico vigoroso, colle sue linee di forza parallele alla lastra e perpendicolari alla lunghezza della fessura o della lista di

Digitized by Google

mica, l'ombra oppure l'immagine della fessura, rispettivamente, erano deviate verso un lato o verso l'altro secondo la direzione del campo; la direzione dello spostamento essendo tale da far vedere che i raggi consistevano di particelle cariche negativamente. L'immagine deviata della lastrina di mica o della fessura non era più taglientemente definita, ma appariva poco netta negli orli, dimostrando che le particelle cariche erano deviate di quantità varie, indicando così una variazione considerevole nelle loro velocità. Si trovò che le particelle le più deviate, e che quindi erano moventisi più lentamente, erano le prime a subire un apparente assorbimento nel passare attraverso a successivi spessori di materia.

Misurazioni accurate condussero alla conclusione che il rapporto della carica elettrica di una particella alla sua massa avesse un valore medio con molta approssimazione uguale a quello trovato nel caso delle particelle dei raggi catodici, ma che le velocità di proiezione fossero molto più grandi, variando da circa metà a più di nove decimi della velocità della luce.

Il metodo sperimentale adoperato da Kaufmann nell'indagare la velocità delle particelle *beta* era di esporre una lastra fotografica avviluppata in un sottile foglio di alluminio all'azione di uno stretto pennello di raggi passanti attraverso un tubo di circa un quinto di millimetro di diametro, inserito sulla parte superiore di una scatola di metallo contenente un sale di radio. L'apparecchio era collocato in un recipiente, dove s'era fatto il vuoto, ed era assoggettato simultaneamente a campi vigorosi magnetico ed elettrico con le loro linee di forza parallele l'una all'altra ed alla lastra fotografica. Il risultato fu di produrre spostamenti magnetici ed elettrici delle particelle, entrambi gli spostamenti essendo paralleli alla lastra fotografica ma ad angoli retti l'uno all'altro, producendo così una linea curva sulla lastra. Questa curva ottenuta sperimentalmente fu allora paragonata colla curva calcolata mediante la teoria elettromagnetica.

I valori osservati e calcolati del rapporto della carica di un elettrone alla sua massa a varie velocità che salivano a più del 96 % della velocità della luce furono trovati essere in perfetto accordo, le differenze ammontando in media a poco più dell'1 %, qualcuno dei risultati osservati essendo leggermente più grande e qualcuno leggermente minore di quelli calcolati. Le differenze reali variavano dal nulla al 7.8 per cento. La seguente tavola, in cui v è la ragione della velocità

Digitized by Google

dell'elettrone alla velocità della luce, ed m la corrispondente ragione della reale massa dell'elettrone in moto alla sua massa in riposo, dà il valore calcolato di m per varii valori di v.

v	< 0.1	0.1	0.5	0.9	0.99	0.999	0.9999	0.999999
m	1.0	1.015	1.22	1.81	3.28	4.96	6.68	10.1

Sarà osservato che, sebbene la massa diventi infinita quando la velocità dell'elettrone raggiunge la velocità della luce, pure quando la velocità dell'elettrone è soltanto inferiore a quella della luce di un milionesimo, la massa raggiunge soltanto dieci volte all'incirca il valore di quella che è coll'elettrone in riposo.

L'assorbimento dei raggi beta dalla materia è, come nel caso dei raggi alfa, generalmente proporzionale alla quantità di materia attraversata. Il piombo costituisce una eccezione meritevole di nota, avendo esso un potere d'assorbimento pressochè due volte maggiore, in proporzione alla sua densità, di ciò che esso sarebbe previsto dalla legge generale. Il potere assorbente dello stagno, in proporzione alla sua densità, è anche di più anormalmente alto per i raggi beta, sebbene esso sia anormalmente basso per i raggi alfa.

Raggi gamma. — L'emissione di questi penetrantissimi raggi dai sali di radio fu osservata da Villard nel 1900 per mezzo dei loro effetti fotografici. Essi producono anche jonizzazione nei gaz, e questo fornisce i più convenienti mezzi per la loro indagine. I raggi alfa e beta provenienti dal radio sono completamente assorbiti da un foglio di piombo di un centimetro di spessore, ma, secondo Rutherford, la presenza dei raggi gamma emessi da 30 milligrammi di bromuro di radio può essere osservata per mezzo di un elettroscopio dopo di esser dessi passati attraverso a 30 centimetri di ferro, il che sarebbe equivalente a pressochè 11 centimetri di piombo. Il loro assorbimento dalla materia di varie sorta è regolata dalla stessa legge generale come nel caso dei raggi alfa e beta, con simili eccezioni ben segnate.

Essi dimostrano molte rassomiglianze coi più duri raggi Röntgen, e generalmente si suppone che essi consistano come quelli, di oscillazioni di etere, e v'ha luogo a ritenere che tali oscillazioni si stabilirebbero alla subitanea liberazione degli elettroni altrettanto come al loro subi-

Digitized by Google

taneo arresto. Quest'ultimo è accettato come l'origine dei raggi Röntgen ed il molto più grande potere penetrativo, ovverosia durezza, dei raggi gamma, paragonati con quelli, sarebbe soltanto in accordo con quanto sarebbe preveduto, presumendo questa essere la natura loro, dalle alte velocità di proiezione delle particelle alfa e beta in paragone con quelle formanti rispettivamente i raggi canali ed i raggi catodici. Essi certamente non portano, come i raggi alfa e beta, delle cariche elettriche. Alcuni esperimenti fatti da Paschen nel 1904 apparvero dapprima indicare che tali cariche fossero portate da questi raggi, ma Eve mostrò concludentemente nello stesso anno che i fenomeni che apparivano suggerire simile conclusione erano realmente dovuti a raggi beta secondari partenti dai punti dove cozzavano sovra ostacoli solidi i raggi gamma.

W. H. Bragg suppose nel 1907 che i raggi gamma potessero consistere di particelle non cariche, ossia coppie, formate dalla coalescenza di una particella alfa con una particella beta, e riuscì a dimostrare che molte delle proprietà dei raggi potrebbero essere spiegate con tale ipotesi. Le di lui conclusioni sono state tuttavia contestate da G. H. Barkla, e la discussione risultante appare piuttosto favorire la più antica teoria delle pulsazioni d'etere, ma l'argomento non può ancora essere considerato come ben determinato.

Digitized by Google

CAPO X.

Trasmutazioni di sostanze radio-attive.

Uranio. — Nel Capo VIII si è riferita la scoperta fatta che l'uranio consiste di due distinti costituenti. Essa venne fatta nel 1900 da Sir William Crookes. L'uranio può essere precipitato dalle sue soluzioni coll'addizione di una soluzione di carbonato d'ammonio, che dev'essere aggiunta poco alla volta ed accuratamente, poichè il precipitato vien di nuovo sciolto quando il carbonato viene aggiunto in eccesso. Crookes ha trovato che un piccolo residuo era lasciato non disciolto dopo questo trattamento. Questo residuo era di color bruno chiaro, e molte centinaia di volte più radio-attivo, quando esperimentato fotograficamente, di quanto fosse lo stesso uranio. Crookes lo denominò uranio X.

Circa nella stessa epoca furono fatti degli esperimenti di carattere molto consimile da Becquerel, il quale riuscì a liberare così completamente l'uranio dall'uranio X che il primo cessò di mostrare un qualche effetto sovra una lastra fotografica coperta con carta nera allo scopo di prevenire che essa fosse impressionata dalla luce. In queste esperienze una soluzione di cloruro di bario fu aggiunta ad una di solfato di uranio, con il risultato di precipitare il bario sotto forma di solfato di bario. Quest'ultimo fu trovato essere fortemente radio-attivo, mentre la radio-attività dell'uranio era grandemente diminuita. Questo processo fu ripetuto un certo numero di volte colla soluzione originale di uranio, finchè il sale, quando asciutto, cessò di impressionare la lastra fotografica. L'uranio fotograficamente inattivo, ed il bario attivo

Digitized by Google

furono allora posti in disparte per un anno circa, e quindi nuovamente esaminati, ed allora si trovò che l'attività del bario era intieramente sparita, mentre quella dell'uranio era stata completamente ricuperata. Quando l'uranio e l'uranio X furono esaminati elettricamente secondo il loro potere di produrre jonizzazione, si trovò che l'attività dell'uranio X era comparativamente piccola, e che la sua rimozione cagionava piccolissima diminuzione sull'attività dell'uranio. Questi risultati furono pienamente spiegati nel 1902 dalle ricerche eseguite da Soddy e da Rutherford e Grier, dalle quali apparve che l'uranio, quando liberato dall'uranio X, emette soli raggi alfa, che sono comparativamente inattivi sulla lastra fotografica, ma che hanno un alto potere jonizzante, mentre l'uranio X emette solamente raggi beta e gamma, i quali hanno comparativamente deboli poteri jonizzanti, ma un'azione fotografica potente. La conclusione indicata dai primi risultati che l'uranio X è continuamente prodotto dall'uranio, fu confermata, e la sua ragione di decadimento fu dimostrata esser tale che la sua radio-attività cade a metà del suo valore in ventidue giorni. La produzione di uranio X dall'uranio è quindi in ogni modo analoga a quella dell'emanazione di radio dal radio, che fu riferita nel Capo VIII, eccetto che alle temperature ordinarie il primo è solido mentre la seconda è gazosa. Non vi è presentemente diretta evidenza circa la natura del prodotto risultante dalla separazione dell'uranio X, poichè, come quasi sempre accade con queste trasmutazioni, la quantità che si può ottenere è troppo piccola per essere scoperta per mezzo di qualcuno fra gli assaggi chimici ordinari. Vi è, tuttavia, come noi vedremo fra breve, un considerevole ammontare di evidenza indiretta che ci induce alla conclusione che esso consista, ad ogni modo in parte, di una sostanza che si trova in natura associata coll'attinio, ed alla quale fu dato il nome di jonio. Consimile evidenza accenna alla conclusione che il jonio diventi a sua volta ulteriormente trasmutato nel radio e nella serie di emanazioni di quest'ultimo, il che noi ora procederemo a considerare.

Radio. — Fu osservato nel Capo IX che, nell'emanazione nota per essere prodotta dal radio, l'investigazione circa i raggi alfa aveva indicato l'esistenza di altri corpi radio-attivi.

Uno studio della ragione di decadimento dell'emanazione del radio indusse Rutherford a simili conclusioni, ed un'analisi delle curve rappresentanti le variazioni osservate nella ragione di decadimento

Digitized by Google

dei depositi attivi col procedere del tempo, misurate in varii modi e sotto variabili condizioni, indusse alla conclusione che quelle tre differenti sostanze radio-attive rappresentassero stadi successivi nella trasmutazione del radio (1). Esse furono nomate radio A, radio B e radio C, rispettivamente.

La volatilità del deposito scoperto da Miss Gates suggerì la possibilità di separare queste sostanze coll'assoggettarle a differenti gradi di temperatura. Curie e Danne riuscirono nel 1904 a separare il radio B ed il radio C in questo modo, il primo essendo completamente rimosso da un filo attivo ad una temperatura di poco superiore a 600° C, mentre l'ultimo non era completamente dissipato anche quando la temperatura era elevata al disopra di 1300° C.

La signora Curie trovò nel 1903 che, sebbene la più grande parte del deposito attivo sparisse entro a poche ore dopo la sua rimozione dalla emanazione da cui essa era stata sviluppata, vi rimaneva pur sempre una leggera attività residua, rappresentante non più di 1/20.000 dell'attività del deposito originale, il quale residuo di attività non appariva decadere col tempo. Quest'attività residua fu sottoposta ad indagini da Rutherford, risultandone la scoperta di tre prodotti più radio-attivi, che furono designati coi nomi di radio D, E ed F, rispettivamente.

Una lastra di platino fu esposta ad una grande quantità di emanazione di radio per un lungo periodo, e si trovò che, dopo un lasso di tempo sufficiente per la completa sparizione del radio C, l'attività residua, quale era misurata dall'emissione di raggi alfa, continuava ad aumentare per un intero periodo di diciotto mesi, durante i quali si svolsero le osservazioni. Al termine di quel tempo parve che un limite fosse per essere raggiunto. — L'attività, quando era determinata dall'emissione di raggi beta, perveniva al suo massimo valore in quaranta giorni circa, dopo i quali essa cominciava a decrescere. Questo fece supporre che i due tipi di radiazioni fossero dovuti a due distinti prodotti provenienti da una sostanza madre, la quale, come il radio B, emettesse poca o non osservabile radiazione. Se questo era il caso egli era evidente che la ragione di decadimento del prodotto d'origine doveva essere oltremodo debole al paragone di quelle dei previamente

(1) Vedi FOSTER e PORTER. *Elettricità e Magnetismo*. p. 598.

Digitized by Google

conosciuti prodotti della desintegrazione del radio. Rutherford trovò che l'attività dei raggi alfa spariva quasi intieramente ad una temperatura di poco superiore a 1000° C, e, ad ancor più alta temperatura, il prodotto emettente raggi beta dava indicazioni di essere leggermente volatile. Egli riuscì pure a separare il prodotto emettente raggi alfa da una soluzione del deposito attivo in acido solforico diluito.

La ragione di decadimento del radio E, emettente raggi beta, fu misurata, ed esso fu riscontrato essere desintegrato a metà in sei giorni, mentre il radio F, emettente raggi alfa, era desintegrato a metà entro 143 giorni.

Quest'ultima ragione di decadimento è la stessa di quella del polonio, il quale emette pure soltanto raggi alfa. Inoltre il polonio fu ottenuto da Marckwald nel 1902, come un deposito radio-attivo nero sovra una verga di bismuto tuffata in una soluzione di cloruro di bismuto ottenuta da residui d'uranio; credendo egli esser questa una nuova sostanza, egli l'aveva denominata radio tellurio.

Il radio F fu separato da Rutherford in una consimile maniera, ed esso è quindi ora generalmente accettato come identico al polonio. Il tempo stimato da Rutherford, da una analisi delle curve, per avere il radio D mezzo desintegrato è quaranta anni. È stato dimostrato da Meyer e Schweidler nel 1906 che il radio E stesso consiste di due prodotti successivamente formati, cioè il radio E_1 che non emette dei raggi ed è mezzo desintegrato in un periodo di poco più di sei giorni, ed il radio E_2 che emette raggi beta ed è mezzo desintegrato entro 4.8 giorni.

Sir William Ramsay mi informa che il tempo impiegato dal radio per decadere per desintegrazione a metà del suo originale ammontare è ora stato definitivamente calcolato dal volume della emanazione sperimentalmente determinato da R. W. Gray e da lui stesso (1), e fu trovato essere di 1258 anni.

La seguente tavola dà una lista delle sostanze radio-attive, le quali sono state sin qui dimostrate di aver rapporto diretto di discendenza, l'una coll'altra, colle loro ragioni di decadimento ed i raggi emessi da

(1) R. W. Gray e Sir William Ramsay, *Chem. Soc. Journ.*, p. 1073, giugno 1909.

Digitized by Google

ciascuna. Caduna sostanza di questa tavola è formata dalla desintegrazione di quella immediatamente ad essa precedente:

Sostanza radio-attiva	*Tempo di decadimento sino a riduzione di* $^1/_2$	*Raggi emessi*
Uranio	Circa 10^9 anni	Raggi alfa
Uranio X	22 giorni	Raggi beta e gamma
Jonio	Circa 25 anni	Raggi alfa
Radio	1258 anni	Raggi alfa
Emanazione di radio	Da 3·7 a 4 giorni	Raggi alfa.
Radio A	3 minuti	Raggi alfa.
Radio B	26 minuti	Lenti raggi beta.
Radio C	19 minuti	Raggi alfa. beta e gamma.
Radio D	40 anni	Senza raggi.
Radio E_1	6 giorni	Senza raggi.
Radio E_2	4·8 giorni	Raggi beta.
Polonio	143 giorni	Raggi alfa.

Il torio e l'attinio dànno origine a prodotti di desintegrazione di di un carattere generale rassomigliante a quelli del radio, e per questa ragione e per l'associazione loro in natura con le sostanze radioattive ora conosciute per essere prodotte dalla desintegrazione dell'uranio, l'esistenza di qualche relazione tra di esse appare probabile. Tuttavia non sono ancora state stabilite dirette trasmutazioni tra il torio e l'attinio, ed i prodotti loro da un lato e quelli dell'uranio.

Torio. — Rutherford e Soddy trovarono nel 1902 che una sostanza strettamente analoga all'uranio X poteva essere separata dal torio, ed essi in conseguenza la denominarono torio X. Otto Hahns, lavorando con sir William Ramsay, trovò uno stato intermedio tra questi due, consistente in una sostanza decadente con molta lentezza emettente raggi alfa, a cui è stato imposto il nome di *radio-torio*. Il torio X si desintegra in una emanazione di torio rassomigliante moltissimo alla emanazione di radio, nelle sue caratteristiche generali. Questa, a suo turno, dà origine ad un deposito attivo consistente di due sostanze successivamente formate, note coi nomi di torio A e torio B. I periodi

Digitized by Google

di decadimento ed i raggi emessi da queste sostanze sono date nella tavola seguente:

Sostanza radio-attiva	*Tempo di decadimento sino a riduzione a metà*	*Raggi emessi*
Torio	circa 2×10^9 anni	Senza raggi
Radiotorio	109 anni	Raggi alfa
Torio X	4 giorni	» »
Emanazione di torio	53 secondi	» »
Torio A	11 ore	Senza raggi
Torio B	55 minuti	Raggi alfa, beta e gamma

Attinio. — I prodotti formati dalla desintegrazione mostrano una straordinariamente prossima rassomiglianza con quelli del torio, come è dimostrato dalla seguente tavola:

Sostanza radio-attiva	*Tempo di decadimento sino a riduzione a metà*	*Raggi emessi*
Attinio	almeno 10^5 anni (1)	Senza raggi
Radio-attinio	19.5 giorni	Raggi alfa
Attinio X	10.2 giorni	» »
Emanazione di attinio	3.9 secondi	» »
Attinio A	36 minuti	Senza raggi
Attinio B	2.15 minuti	Raggi alfa, beta e gamma

Dacchè il radio è continuamente sottoposto a desintegrazione a tal ragione che l'ammontare esistente in una certa quantità di minerale ad un dato momento diminuirà sino alla metà del suo valore iniziale in un periodo di mille e duecento e cinquantott'anni, ne consegue che il radio ora presente sulla terra deve essere stato formato molto più recentemente che i minerali in cui esso è trovato. L'età loro è misurata da milioni di anni ed è impossibile di evitare la conclusione che essi

(1) Questo è l'estimo fatto da B. KEETMAN (*Jahrbuch der Radioactivität und Elektronik.*, vol. VI, p. 265, 1909) dai risultati di infruttuosi tentativi per ottenere l'attinio come un prodotto di disintegrazione del jonio.

Digitized by Google

avrebbero da lungo tempo in qua cessato di contenere quantità apprezzabili di radio, ammenochè non vi sia stata una ulteriore formazione di radio entro la sostanza del minerale in tempi comparativamente recenti. Dei dati geologici escludono praticamente la supposizione che questo fatto possa aver avuto luogo subitaneamente e sia quindi cessato. Noi siamo quindi tratti alla conclusione che il radio sta continuamente formandosi dalla desintegrazione di qualche altro costituente del minerale. Ora, minerali greggi di uranio sono le sole sorgenti conosciute di radio in qualche considerevole quantità, e quindi fu supposto da Rutherford e Soddy nel 1903 che l'uranio, il quale è di per se stesso una sostanza radio-attiva, potesse essere molto verosimilmente la sorgente dalla quale è mantenuta la provvista di radio.

Un'evidenza che conferma la veracità di questa ipotesi fu ottenuta indipendentemente da Whetham e Soddy nel 1904, e fu confermata da Boltwood nel 1905.

Questi osservatori trovarono che il radio faceva gradatamente la sua apparizione in una soluzione di un sale d'uranio, originariamente scevro di radio, dopo che essa era stata conservata per qualche tempo in un recipiente chiuso al riparo da ogni possibilità dell'introduzione di un materiale esterno radio-attivo, ma che l'ammontare prodotto in tal modo era considerevolmente minore di ciò che poteva essere spiegato dalla presunzione che esso fosse ottenuto direttamente dalla desintegrazione dell'uranio X. Fu supposto che l'attinio, che è sempre stato trovato presente nei minerali greggi di uranio, potesse essere il prodotto intermedio tra l'uranio X ed il radio. L'indagine su questo fu intrapresa nel 1906 da Boltwood, il quale fu indotto a seguire un'altra linea di ricerche, che, come vedremo fra poco, fornì ulteriore conferma dell'ipotesi che il radio fosse prodotto dalla desintegrazione dell'uranio. In relazione con queste ricerche Boltwood aveva inventato metodi perfezionati di analisi dei minerali greggi di uranio, che lo posero in grado di effettuare una separazione completa dell'attinio: ed anche un metodo maggiormente accurato di accertare l'ammontare del radio presente, col misurare l'ammontare totale dell'emanazione di radio ottenuta col disciogliere il minerale e far bollire la soluzione. A cagione del fatto che pressochè tutta l'intiera emanazione formata entro un corpo solido rimane assorbita entro i suoi pori, la quantità di emanazione ottenuta in questo modo è, ad uno strettissimo grado di approssimazione, proporzionale all'ammontare del radio presente.

Digitized by Google

Le investigazioni di Boltwood lo condussero dapprima alla conclusione che l'attinio fosse, come era stato supposto, il prodotto intermedio tra l'uranio X ed il radio, ma fu dimostrato da Rutherford nel 1907 che questo prodotto intermedio non era l'attinio stesso, ma una sostanza che con esso era precipitata, e che ha ricevuto il nome di jonio. Il risultato di Rutherford è stato di poi confermato dalle ulteriori indagini di Boltwood.

Nel tempo stesso, i risultati ottenuti da indagatori seguenti l'altra linea di ricerche, riferita dianzi, li condusse alla stessa conclusione che l'uranio fosse la sorgente dalla quale la provvista di radio viene mantenendosi. M'Coy, le investigazioni del quale furono pubblicate nel 1904, analizzò un grande numero di minerali contenenti uranio, e paragonò le loro attività totali, con il risultato che l'attività totale era sempre trovata essere approssimativamente proporzionale alla quantità di uranio, com'è determinata dall'analisi chimica, eccetto nel caso di minerali contenenti un apprezzabile ammontare di torio. Questo era il risultato da essere predetto nell'ipotesi che il radio ed i suoi prodotti presenti nei minerali fossero dovuti alla desintegrazione dell'uranio. Per rendere perfettamente chiaro questo punto, consideriamo ciò che accadrebbe nel caso di una quantità di uranio che fosse stata depurata da uranio X ed ulteriori prodotti di desintegrazione. L'ammontare di uranio X aumenterebbe dapprima gradatamente sino a che esso raggiungesse un valore massimo, quando lo stato permanente fosse raggiunto in cui l'ammontare di uranio X formato in un tempo dato divenisse uguale all'ammontare distrutto per desintegrazione nello stesso tempo. Tra l'ammontare di uranio X e la quantità di uranio, interverrebbe allora una ragione definita, e la stessa si manterrebbe rispetto a ciascuno degli ulteriori prodotti di desintegrazione, dopo un lasso di tempo sufficiente per ciascuno di essi per raggiungere il suo massimo. In questo stato permanente la totale emissione dei raggi di ciascuna qualità avrebbe un rapporto definito colla quantità di uranio esistente invariato al tempo dell'osservazione. Le attività di differenti minerali non contenenti sostanze radio-attive, oltre che quelle derivate dall'uranio, avrebbe quindi lo stesso rapporto alla quantità di uranio presente, a condizione che l'attività fosse misurata per mezzo della stessa classe di radiazione in cadun caso. Questi risultati furono pienamente confermati da un'estesa serie di ricerche da Boltwood, ed anche da Strutt e da altri osservatori.

Digitized by Google

Oltre al torio, il bismuto, il bario ed il piombo si trovano costantemente associati coll'uranio, e questo fatto ha indotto a supporre che qualcuno di essi, e forse tutti, potessero annoverarsi tra i prodotti di desintegrazione dell'uranio. Tuttavia le recenti ricerche di Boltwood mostrano che i tre primi metalli non sono trovati in tali proporzioni da giustificare una simile conclusione, ma egli pensa che il piombo invece presenti in alto grado queste probabilità. Il paragone in tutti i casi deve essere limitato ai minerali trovati nelle roccie primitive, cioè in quelle che non sono state sottoposte a cambiamenti per azione dell'acqua dopo la loro formazione, poichè in simile caso vi sarebbero cambiamenti nelle relative proporzioni dei varii costituenti, a cagione che qualcuno di essi sarebbe stato disciolto ed asportato dall'acqua infiltrante. Rispetto a tali sostanze stabili, come bismuto, bario e piombo, non è da aspettarsi un rapporto fisso in minerali che differiscono ampiamente per età, perchè se una qualche desintegrazione di queste sostanze sta accadendo, egli è soltanto ad un ammontare impercettibile.

Boltwoop ritiene che il piombo non si rinviene nella richiesta proporzione fissa coll'uranio nei minerali primarii stimati essere circa della stessa età, e che la proporzione di piombo relativamente all'uranio è più grande nel caso di minerali noti per essere di formazione comparativamente anteriore.

Boltwood da questi risultati deduce che il piombo dev'essere considerato come il prodotto della desintegrazione finale dell'uranio.

Quando noi staremo per considerare, nel prossimo capitolo, la probabile origine delle sostanze radio-attive, noi vedremo che vi è buona ragione di supporre che vi esistano nel sole, presentemente, delle sostanze radio-attive di un ordine più elevato, e capaci di sprigionare colla loro desintegrazione, quantità molto più grandi di energia di quanta ne sprigionino quelle ora esistenti sulla superficie della terra.

Qualche sostanza di questo genere può molto verosimilmente esser stata l'antenata comune dell'uranio e del torio, i quali, secondo le ricerche di Boltwood, non possono essere riallacciati l'uno all'altro in una linea di discendenza diretta. La quistione poi se l'attinio ed il torio abbiano tra di loro una consimile parentela, oppure se l'attinio coi suoi prodotti formi una terza linea di discendenza parallela a quelle dell'uranio e del torio, è tale quistione che sarà interessante di risolvere (1).

(1) Vedere Appendice C.

Digitized by Google

CAPO XI.

Le età della terra e del sole, e la probabile origine delle sostanze radio-attive.

I fenomeni di radioattività hanno un'importante connessione con alcuni problemi cosmici del più alto interesse, dei quali i due più importanti sono l'età della terra e quella del sole.

Età della terra. — Molti anni addietro Lord Kelvin venne alla conclusione che la terra, nel corso del raffreddamento dalla sua condizione gazosa originale e dopo esser passata attraverso ad uno stato completamente fluido, deve aver cominciato a formare una crosta solida, all'incirca tra 100.000.000 e 200.000.000 anni fa. I geologi, d'altra parte, sostenevano l'impossibilità assoluta di spiegare i fatti conosciuti di geologia senza presumere che la terra solida avesse esistito per un periodo immensamente più lungo.

I calcoli di Lord Kelvin erano basati sull'applicazione dei meravigliosi metodi matematici sviluppati da Fourier più di cent'anni addietro primariamente per l'elucidazione di problemi inerenti alla trasmissione del calore.

La più semplice via per dare al lettore non matematico una qualche idea circa il modo col quale si è intrapresa la soluzione di questo problema, sarà di considerarlo dapprima sotto una forma semplificata.

Immaginiamo una grande sfera solida di metallo, che abbia un piccolo foro praticato da qualche punto dalla sua superficie sino al centro, e facciamo riscaldare questa sfera in un forno fintantochè essa raggiunga una temperatura praticamente uniforme per tutta la sua massa. Ritiriamo allora la sfera dal forno, sospendiamola in un posto di temperatura uniforme, esente da correnti d'aria. La sfera comincierà allora a raffreddarsi in tal maniera che, ad un dato momento, la temperatura

Digitized by Google

ad ogni punto della superficie sarà la stessa. Per fissare anche meglio le nostre idee supponiamo che la sfera sia di ferro e del diametro di 6 piedi (circa m. 1,50) e supponiamo che le prime osservazioni sieno fatte sopra di essa dopo che un periodo di dieci ore sia trascorso dalla sua rimozione dal forno. Supponiamo che queste osservazioni consistano nel prendere prima la temperatura della superficie per mezzo di un termometro e quindi introducendo il termometro nel foro praticato sino al centro, e prendendo la temperatura ad intervalli, poniamo, di ciascun pollice (cm. 2.5) tra la superficie ed il centro. Si troverà che la temperatura del centro è molto più alta di quella della superficie, e che la temperatura di ogni punto entro la sfera è più alta quanto più è vicino quel punto al centro. L'applicazione dei metodi di Fourier a queste osservazioni ci porrà in grado di stabilire un'equazione differenziale che determinerà la relazione tra la temperatura ad ogni punto entro la sfera e la distanza di quel punto dal centro della sfera ad un dato tempo dopo quello in cui furono fatte le osservazioni. Supponiamo ora di provare a risolvere l'equazione così ottenuta, ma adoperando un valore negativo invece di un valore positivo del tempo. Questo, se riesce, darebbe la temperatura del punto scelto a quell'intervallo di tempo prima, anzichè dopo, il tempo d'osservazione.

Siccome noi abbiamo presupposto che le osservazioni furono fatte dieci ore dopo il ritiro della sfera dal forno, noi riusciremo ad ottenere una soluzione per ogni valore negativo del tempo minore di dieci ore; ma per un valore negativo maggiore, dico ad esempio undici ore, l'espressione matematica ottenuta per la temperatura del punto dato diventerebbe incomprensibile; in altri termini, l'espressione sarebbe assurda.

Se noi non conoscessimo che il periodo di tempo trascorso tra la rimozione della sfera dal forno e le osservazioni era di dieci ore, il minimo valore negativo del tempo per il quale l'espressione diventa assurda darebbe a noi il tempo della rimozione. Egli non è difficile l'intendere la ragione di questo. La relazione matematica fu ottenuta nella supposizione che il solo cambiamento avente luogo nella sfera fosse dovuto al processo di raffreddamento.

Il cambiamento di condizioni introdotto dal rimuovere la sfera dal forno non era tenuto in conto, e quindi la nostra equazione era incapace di darci qualche informazione sovra punti intieramente estranei al suo scopo.

Digitized by Google

La terra non è in verun modo fatta intieramente di materiale uniforme, ed egli è naturalmente impossibile di fare osservazioni estensibili dalla superficie al centro. Infatti le misurazioni corrispondenti a quelle fatte nel buco forato sino al centro della sfera ebbero ad esser praticate in una miniera di carbone la cui profondità non era molto maggiore di un miglio, una porzione piccolissima appetto delle quattromila miglia, o press'a poco, che avrebbero da essere esplorate se le osservazioni avessero da essere eseguite altrettanto completamente come quelle fatte sul metallo. Tutto ciò che fu quindi possibile nel caso della terra fu di ottenere valori probabili rispettivamente per il massimo ed il minimo tempo. Nell'ottenere la prima soluzione tutte le quantità incerte avrebbero gli estremi valori possibili dati ad esse in tale direzione secondo quella dell'aumento del tempo. Il tempo minimo sarebbe allora ottenuto col dare a tutte le quantità incerte gli estremi valori nella direzione che tenderebbe a fare il tempo minore.

In un caso l'espressione matematica diviene assurda, quando il tempo eccede circa 200.000.000 anni; in un altro quando esso eccede circa 100.000.000 anni. Questo significa che ad una qualche epoca entro questi limiti qualche cosa è accaduto che ha introdotto un cambiamento nelle condizioni del raffreddamento. Ora noi sappiamo che tale cambiamento sarebbe introdotto dal passaggio della terra dalla condizione di un liquido a quella di un solido, e non v'ha ragione di ascrivere il cambiamento indicato a qualche altra causa.

In questi calcoli è stato naturalmente presupposto che nessun calore stesse generandosi dall'interno della terra. Se questo fosse il caso, egli è affatto evidente che le condizioni del problema sarebbero intieramente alterate, cosicchè la soluzione ottenuta non sarebbe più valida.

Ora noi abbiamo veduto che i materiali radio-attivi sono ampiamente distribuiti sopra la superficie della terra, e può essere dimostrato che l'esistenza del radio nella terra sino al limite di parti 4,6 di peso su 100 bilioni sarebbe sufficiente per compensare l'attuale ragione di perdita di calore della terra per trasmissione dall'interno alla superficie, e di là per radiazione nello spazio.

Alcuni risultati di Elster e Geitel forniscono un buon motivo per la credenza che la radio-attività della terra sia dell'ordine indicato, ed ulteriore conferma di questa è stata ottenuta nelle recenti indagini di R. J. Strutt, delle quali egli ha dato un resoconto nella conferenza del Venerdì sera all'Istituto Reale al 27 di marzo 1908. Egli osservò che

Digitized by Google

il minerale di pechblenda, la sorgente del radio e di altri materiali radio-attivi, per quanto almeno riguarda l'Inghilterra, è stato trovato soltanto in Cornovaglia, in filoni nel granito e negli schisti. Egli considera che tal minerale sia derivato dal circostante granito, dacchè degli esami di carattere molto accurato hanno dimostrato che il granito contiene del radio sino al limite di circa una parte sovra un bilione. Egli osserva che, per quanto minuta sia questa proporzione, la totale quantità di radio contenuta in tal ragione nell'esterna crosta terrestre, sino ad una profondità di quaranta o cinquanta miglia, sarebbe più che sufficiente per spiegare la radiazione di calore della terra.

Egli è quindi estremamente probabile che la presente ragione, secondo la quale la terra sta perdendo del calore possa aver continuato senza cambiamento alcuno per lunghissimi periodi di tempo, a cagione della provvista di calore proveniente dalla materia radioattiva esistente nell'interno della terra. Egli è quindi possibilissimo che la terra possa essere rimasta per un lunghissimo periodo di tempo ad una temperatura non molto diversa da quella odierna, e quindi che il periodo durante il quale la temperatura sia stata tale da permettere l'esistenza della vita animale e vegetale possa essere di gran lunga più grande di quello stimato da Lord Kelvin.

Strutt richiamò l'attenzione, nel corso della sua lettura, sul grande significato dell'elio nelle indagini della radio-attività terrestre. Noi abbiamo di già veduto che l'elio è prodotto dalla disintegrazione del radio e di altre sostanze radio-attive; ed essendo una sostanza stabile, non soggetta, almeno per quanto possa estendersi la nostra presente conoscenza, ad ulteriore disintegrazione, noi dovremmo aspettarci di esser capaci di scoprire la sua presenza in ogni minerale contenente del radio.

La presenza del radio nel granito quindi condusse Strutt a far ricerca dell'elio, che egli ebbe la fortuna di rinvenire. Egli lo trovò pure in numerosi altri minerali, come il quarzo, per esempio, di cui la radio-attività non è meritevole di nota. L'elio era usualmente accompagnato da una sufficiente quantità di radio per spiegare la formazione di esso. Vi fu peraltro un caso anormale, quello del berillo, il minerale di cui sono composti gli smeraldi. Soltanto le minime traccie di radioattività furono trovate nel berillo, e pure esso conteneva grandi quantità di elio; non di meno di 17.000 mm. c. di elio essendo stato ottenuti da un chilogramma di berillo. È stato suggerito, come possibile spiegazione,

Digitized by Google

che questo minerale potesse essere sufficientemente vecchio perchè praticamente l'intero ammontare di radio in esso avesse avuto agio di diventare disintegrato, lasciando l'elio solo. Non appare tuttavia esservi un qualche fondamento per asserire che i berilli fossero formati anteriormente agli altri cristalli trovati nelle roccie e nelle cavità. Strutt suppone che una spiegazione potrebbe essere dedotta da qualche osservazione fatta recentemente dal prof. Joly di Dublino.

Nel corso dell'esame microscopico di sottili sezioni di granito Joly ottenne una sezione nella quale un cristallo di mica bianco era di grande evidenza, e dentro il mica vi era un piccolo cristallo di zirconio, il quale è uno dei minori costituenti del granito. Il zirconio era circondato da un disco oscuro, il quale formava un cerchio pressochè perfetto.

Vi può essere poco dubbio che l'oscuramento del minerale fosse dovuto ai raggi alfa dal radio emananti dal zirconio, che è conosciuto essere una sorgente di radio; e che il cerchio fosse semplicemente una sezione della sfera, con raggio uguale al « campo d'azione » di questi raggi alfa, circoscriventi la porzione del mica entro cui i raggi erano attivi nel dare origine alla colorazione. Quest'offuscamento del mica era stato compiuto nel corso di età geologiche, ma Joly riuscì, coll'uso del radio concentrato, ad ottenere un effetto consimile nel suo laboratorio, entro il corso di pochi mesi.

La supposizione di Strutt era che, dopo che le particelle fossero divenute incapaci a produrre colorazione, sia per diminuzione delle velocità loro, od anche forse, come suppose sir J. J. Thomson, per la perdita delle loro cariche elettriche, esse potessero ancora essere in grado di dare origine alla formazione di elio. Una spiegazione ancora più semplice fu fornita dalla prova definitiva poi ottenuta, come noi vedemmo nel Capo IX, che le particelle alfa di per se stesse consistono intieramente o parzialmente di elio. Strutt quindi continua a supporre che, dappoichè l'elio è stato prodotto dalla graduale disintegrazione di sostanze radio-attive, e dacchè la ragione di produzione di elio dal radio è stata determinata da esperimenti di laboratorio, appare oltremodo probabile che delle determinazione delle quantità relative di elio esistenti nelle varie roccie possano fornirci importanti dati circa le età degli strati in cui dette roccie si trovano.

L'età del sole. — È possibile, mediante misurazioni del calore irradiato dal sole, ottenere degli estimi più o meno approssimativi dell'energia totale emessa dal sole nello spazio, durante un dato periodo

Digitized by Google

di tempo (1). Noi conosciamo, solamente dall'evidenza geologica, che il sole deve essere andato emettendo calore ad una ragione certamente non minore di quella attuale, e probabilmente maggiore, per un enorme periodo di tempo. Secondo le più antiche teorie fisiche, tutta, o praticamente tutta, quest'energia deve esser stata derivata dal lavoro compiutosi nella graduale contrazione del volume del sole.

Lord Kelvin fece alcuni calcoli dell'ammontare di energia che sarebbesi trasformata dalla forma potenziale a quella cinetica in questo modo, e sarebbesi dissipata sotto forma di calore durante la concentrazione del sole da uno stato di infinita dispersione. I dati per tale problema come questo sono necessariamente qualche poco indeterminati, le conclusioni però a cui giunse Lord Kelvin furono che noi potevamo quasi essere certi che il sole non ha illuminato la terra per tanto come 500.000.000 di anni e probabilmente per non di più che 100.000.000 di anni. I geologi richiedono un periodo immensamente più lungo di questo a fine di spiegare la successione di depositi stratificati contenenti le reliquie fossilizzate di cotante forme di vita animale e vegetale. Nuovamente, rispetto al futuro, la conclusione di Lord Kelvin fu che, eccettuando il caso dell'esistenza di sorgenti d'energia sconosciute all'epoca della di lui indagine, gli abitanti della terra non potrebbero continuare a godersi la luce ed il calore indispensabili per la loro vita, per più di un milione di anni ancora.

La scoperta dei fenomeni nella radio-attività ha introdotto un fattore intieramente nuovo in questo problema. Mr. W. E. Wilson dimostrò nel 1903 che, sulla base dell'estimo fatto da Curie e Laborde circa l'emissione di calore dal radio, accennata dianzi in questo capitolo, la presenza di grammi 3,6 di radio in ciascun metro cubo della massa del sole sarebbe sufficiente per spiegare la di lui attuale ragione di emissione di energia. Dalla ben nota densità media del sole consegue che questa emissione è equivalente a parti in peso 2 ½ sopra un milione. Non sono ancora state osservate traccie del radio nello spettro solare, ma l'esistenza dell'elio fu scoperta nel sole prima che essa fosse trovata sulla terra, e fa supporre con molta verosimiglianza l'esistenza di materia radio-attiva in quello. Questa supposizione è sorretta dall'informazione circa la costituzione del sole, ottenuta da osservazioni

(1) Vedi POYNTING e THOMSON, *Calore*, p. 251.

Digitized by Google

telescopiche, tanto spettroscopiche quanto comuni, che sono state effettuate per molti anni, specialmente durante i corti periodi di eclissi totali cagionati dalla luna.

Dovrebbe essere osservato in primo luogo che le stelle luminose, e quindi visibili, possono essere rozzamente classificate, secondo il colore della luce che esse emettono, in stelle bianche, come Sirio, stelle gialle, di cui il sole è un esempio, e stelle rosse, come Betelgeuse. Di queste, discorrendo in generale, le stelle bianche sono le più calde, mentre le rosse sono le più fredde. Egli è necessario di qualificare questo ragguaglio d'indole generale, come io ho fatto, perchè noi sappiamo da informazioni circa a stelle di nuova formazione che una stella può essere circondata da nuvole di piccole particelle, o polvere cosmica, come essa vien chiamata, la quale può arrestare una proporzione maggiore di raggi azzurri che non di quelli rossi, e può quindi far sì che una stella di temperatura sufficientemente alta da emettere luce bianca appaia gialla od anche rossa. La legge di Wien ci pone in grado di ottenere un estimo della temperatura col misurare la lunghezza d'onda di quella parte dello spettro del corpo incandescente in cui l'emissione di calore è la più grande. L'applicazione di questa legge al sole darebbe una temperatura di circa 5000° C. come quella della sua superficie visibile. Questo risultato deve ovviamente essere troppo basso, poichè una considerevole proporzione della radiazione è assorbita dall'atmosfera della terra e da quella del sole. Quando sia tenuto debitamente calcolo di quest'assorbimento, la temperatura media della superficie del sole trovasi essere tra i 6000° C. ed i 7000° C., col valore il più probabile di circa 6200° C.

Secondo i risultati di osservazioni fatte da Harkányi appare probabile che la temperatura delle stelle bianche Vega e Sirio è di circa 1000° C. più alta di quella del sole, mentre quella della stella rossa Betelgeuse è di circa 2500° C. più bassa della temperatura del sole. I costituenti delle stelle bianche osservate collo spettroscopio appaiono essere principalmente idrogeno ed elio, con una proporzione minore di ossigeno e pochissime traccie di metalli. Gli spettri metallici predominano nel caso delle stelle gialle, e sono accompagnati da quelli di pochi composti chimici. Oltre ai metalli, un molto maggior numero di composti è veduto negli spettri delle stelle rosse, specialmente di composti di carbonio. Alcuni composti osservati usualmente solo nelle stelle rosse sono stati scoperti nel sole durante un eclisse totale, le

Digitized by Google

loro righe comparativamente deboli non essendo allora più oltre mascherate dalla radiazione dell'intiera superficie; così noi non dobbiamo concludere che una stella, il cui spettro mostri solo le linee dell'elio, dell'idrogeno e dell'ossigeno, non contenga altre sostanze, ma semplicemente che questi elementi sono largamente predominanti negli strati esteriori della stella.

Vi è ogni ragione di credere che il nostro giallo sole fosse anteriormente una stella bianca molto più brillante, tale quali sono Sirio e Vega, e che nel corso delle epoche egli si raffredderà ancor di più sino allo stato di stella rossa, tale come Betelgeuse, scemando in pari tempo l'emissione del suo calore sino ad un settimo circa del presente suo ammontare. La terra diverrebbe un corpo vuoto ed agghiacciato molto tempo prima che quello avesse a accadere.

Quando la superficie del sole è esaminata attraverso ad un potente telescopio, le caratteristiche che dapprima fermano la nostra attenzione sono le macchie che furono osservate da Galileo per il primo nell'anno 1610. Egli è molto di rado che la superficie visibile del sole sia intieramente libera da queste macchie, sebbene esse sieno grandemente variabili in numero ed in ampiezza, raggiungendo esse un valore massimo ad intervalli medi di circa anni 11,1. Esse non sono disseminate su tutta la superficie, ma sono limitate a due zone nella vicinanza dell'equatore del sole ed all'uno ed all'altro lato di esso. Come Norman Lockyer lo ha espresso, le macchie appaiono come fluttuanti sulla brillante superficie del sole, nota col nome di *fotosfera*. Esse generalmente esibiscono tre gradi di oscurità, l'oscurità essendo sempre maggiore verso il centro. Qualche volta tuttavia le parti più oscure sono eccentriche e di contorno molto irregolare. Quando le macchie sono tenute in osservazione, si trova che esse sottostanno sempre a cambiamenti continui: e questo può essere talvolta osservato nel corso di un'ora. Qualcuna di esse poi esibisce ovvie indicazioni di un'azione ciclonica.

Il complesso delle porzioni brillanti appare essere grossolanamente screziato, consistendo esso di pezze brillanti separate da intervalli relativamente piccoli di luminosità molto più bassa. Le più larghe e più brillanti pezze sono osservate nell'immediata vicinanza delle macchie e sono note col nome di *faculae*. Alcune di queste sono state osservate essere di tale intensa luminosità da indicare temperature tra i 10.000° C. ed i 12.000° C. Lo studio spettroscopico del sole mostra che le macchie sono dovute a correnti impetuose, verso l'interno, di gaz, i quali, pas-

Digitized by Google

sando come essi fanno dall'esterno più freddo del sole all'interno maggiormente caldo, non sopportano condensazione alcuna, la quale, ove accadesse, risulterebbe nella produzione di nuvole. Le *faculae*, d'altro lato, sono dovute a masse ascendenti di gaz, che si condensano in nuvole che si innalzano e si espandono sovra vaste aree. Queste nuvole consistono, secondo ogni probabilità, principalmente di particelle liquide o solide di carbonio e di varii metalli.

Al di sopra delle nuvole luminose della fotosfera vi è l'atmosfera del sole, che si estende ad un'altezza stimata tra 5000 e 6000 miglia. Questa atmosfera contiene, nella forma di gaz, la maggior parte degli elementi trovati sulla terra. L'idrogeno e l'elio formano una grande proporzione dell'atmosfera, specialmente, per causa della loro relativa leggerezza, quella degli strati superiori. Nel corso di un eclisse quest'atmosfera diventa visibile appena che le nuvole luminose della fotosfera sono state celate dalla luna, e poichè essa usualmente in tali circostanze esibisce la colorazione porpora caratteristica dell'idrogeno, essa è conosciuta col nome di *cromosfera*. Delle masse simili a fiamme, delle quali l'apparenza è stata paragonata a quella di steli d'erba, sono vedute sorgere al di sopra della cromosfera sopra tutta la sua superficie, essendo più grandi e più numerose quando le macchie del sole sono al loro massimo. Esse sono descritte come protuberanze solari quando esse raggiungono un'altezza approssimantesi a 10.000 miglia ed oltre (16.100 km.).

Sono state osservate delle protuberanze di qualche 370.000 miglia d'altezza (595.700 km.). Sir Norman Lockyer e Janssen mostrarono nel 1868 che le loro indagini potevano essere continuate, coll'aiuto dello spettroscopio, affatto indipendentemente dall'eclissi. Queste protuberanze nelle quali la più violenta azione è osservata, indicata dalla rapidità con cui esse cambiano la loro dimensione e forma, si trovano essere composte in larga misura di metalli nello stato gazoso. Un movimento ad una velocità approssimantesi a 300 miglia al secondo (480 km. al secondo) è stato osservato in alcune di queste protuberanze metalliche. Esse appaiono solo entro l'area delle macchie solari.

Le più grandi protuberanze sono trovate consistere quasi esclusivamente di idrogeno e di elio, ed esse appariscono da tutte le parti della superficie solare. L'apparenza loro è molto simile a quella di nuvole, o masse di fumo, e protuberanze che s'incontrano vicino ai poli sono qualche volta state tenute in osservazione durante una rotazione com-

Digitized by Google

pleta del sole, che impiega circa quaranta giorni, ed anche per più lunghi periodi. Arrhenius osserva che le più elevate parti di alcune di queste protuberanze devono essere quasi nel vuoto, cosicchè esse non possono essere sostenute da gaz circostanti come le goccie di acqua nelle nuvole terrestri. Egli spiega la loro continuata permanenza a tali altezze sopra la superficie del sole mediante l'effetto ripulsivo della pressione di radiazione.

La quistione che ora noi dobbiamo considerare è la natura della sorgente dell'energia richiesta per proiettare masse di vapori metallici ed altri vapori, dalla superficie del sole, con velocità di circa 300 miglia al secondo, ossia circa 600 volte la massima velocità iniziale di una palla da moschetto.

La sola sorgente concepibile di quest'energia è la disintegrazione con violenza esplosiva di qualche sostanza entro l'interno del sole. Se l'energia per tal modo liberata potesse essere applicata al porre in moto il gaz sotto condizioni altrettanto favorevoli quanto lo sono quando essa è applicata ad una palla in un moschetto, supposizione questa affatto inverosimile, l'esplosivo solare avrebbe da essere più di 300.000 volte più potente della polvere usata nell'arma da fuoco: poichè l'energia richiesta è proporzionale al quadrato della velocità. Inoltre, una parte soltanto dell'esplosivo solare è utilizzata nell'accelerare la massa di gaz, probabilmente anzi una piccola parte del totale, poichè il restante deve essere assorbito nel passaggio dall'interno del sole alla superficie. Egli è tuttavia probabile che l'energia sviluppata in queste esplosioni solari sia almeno un milione di volte più grande di quella che potrebbe essere prodotta dagli esplosivi terrestri della massima potenza.

Tale sostanza non è a noi nota, così noi dobbiamo tentare per mezzi indiretti di accertarci della sua probabile natura. In questo noi siamo grandemente aiutati dal fatto che i materiali del sole sono praticamente identici a quelli dei quali la terra è composta. Le differenze sono quindi quelle delle stesse sostanze sotto differenti condizioni di temperatura. Noi possiamo quindi presumere che questi alti esplosivi nel sole sono fabbricati di materiali coi quali noi abbiamo famigliarità, e quindi la quistione che dobbiamo rivolgere a noi stessi in primo luogo è: Saranno queste sostanze più verosimilmente di quelle a noi note come composti chimici, o saranno desse dei corpi radio-attivi? Alcuni dei primi liberano energia quando essi si disintegrano, altri ne assorbono. Questi ul-

Digitized by Google

timi sono naturalmente fuori di quistione. In favore dei composti della prima classe sta il fatto che noi conosciamo numerose sostanze, note come esplosivi, che si disintegrano con grande subitaneità e con una considerevole liberazione di energia. Io non sono consapevole dell'esistenza di qualche esplosivo che si disintegri per abbassamento di temperatura, come sarebbe richiesto nel caso nell'esplosivo solare. Egli è nell'innalzamento di temperatura che i terrestri esplosivi si disintegrano. Questo tuttavia è un punto di minor importanza paragonato colla difficoltà, che ammonta, io credo, all'impossibilità, di immaginare una qualche combinazione di elementi conosciuti, che potrebbe sprigionare qualche cosa di approssimante alla quantità di energia richiesta coll'essere puramente risolta nelle sue molecole costituenti, e senza accompagnamento di una disintegrazione atomica che è la caratteristica distintiva della radio-attività.

D'altra parte, una sostanza tale come il radio, od una da cui il radio sia stato formato, sarebbe perfettamente capace di fornire l'energia richiesta, se la disintegrazione, che, nelle presenti condizioni terrestri, ha luogo gradatamente, potesse essere effettuata con sufficiente subitaneità (1). Un'evidenza indiretta in favore dell'ipotesi radio-attiva ha da essere trovata nella presenza di tali grandi quantità di elio nel sole e specialmente nel fatto che quando una macchia del sole è spettroscopicamente esaminata, l'elio è invariabilmente trovato ad esser presente in quantità.

Il nostro prossimo passo deve essere di provare di accertarsi delle condizioni sotto cui la formazione e la disintegrazione, rispettivamente, di sostanze radio-attive devono essere ritenute possibili.

Gli elementi radio-attivi a noi noti sono tutti corpi di peso atomico relativamente alto. In altre parole, essi sono agglomerazioni di materia ravvolte insieme in una maniera eccezionalmente stretta. Fino al punto a cui sia stato possibile di giungere nell'ottenere i vari prodotti della disintegrazione in quantità sufficiente da permettere la determinazione del peso atomico, è stato trovato che i pesi atomici dei prodotti successivamente formati compongono una serie in diminuzione co-

(1) Il professore ARRHENIUS propone definitivamente una conclusione simile nella sua opera recentemente pubblicata (1909): *La vita dell'universo*, vol. II. p. 239.

Digitized by Google

stante, ciascun prodotto consistendo di una particella di materia meno strettamente ravvolta di quello che immediatamente lo precede. La teoria meccanica del calore c'insegna che la fabbricazione di tale sostanza sarà facilitata dalla crescente pressione esterna, e che la diminuzione di pressione sarà, al contrario, favorevole ad un'ulteriore disintegrazione. Inoltre, ciascun passo nella disintegrazione è accompagnato dalla liberazione di energia in grandi quantità. La fabbricazione deve quindi essere accompagnata da un consimile grande assorbimento di energia a ciascun grado.

La teoria meccanica del calore mostra che la formazione di tali sostanze va ricercata sotto condizioni di temperatura elevantesi. L'applicabilità di queste considerazioni al problema dell'origine delle sostanze radio-attive è stata osservata da Arrhenius, il quale deduce che esse sono colla massima probabilità formate durante i primissimi strati dello sviluppo di una stella quando e temperatura e pressione sono entrambe in aumento (1). Sono trascorse lunghissime età dacchè il sole e la terra devono esser passati attraverso a questo stadio. Essi ora stanno gradatamente scemando di temperatura, ma le sostanze radio-attive una volta formate entro essi ritardano il processo mediante la graduale liberazione delle enormi provvigioni di energia che furono assorbite nella loro formazione. Il continuo sprigionarsi, sotto forma di calore, di questi immani depositi di energia renderà possibile la continuazione della vita sulla terra, con tutta probabilità per molti milioni di anni e fors'anche per migliaia di milioni d'anni a venire. Se non fosse stato di quell'energia, vi sarebbe ogni ragione di credere che la terra, già molte età addietro, sarebbe caduta ad una temperatura troppo bassa perchè la vita avesse ad esistere sulla sua superficie, ed è affatto possibile che il sole stesso potrebbe di già aver cessato di splendere, e sarebbe stato trasformato in una « stella scura ».

È stato altre volte supposto che tutti i composti chimici sarebbero scomposti nei loro elementi alle alte temperature esistenti nell'interno del sole, ma lo spettroscopio indica la presenza di tali composti nelle più basse profondità dei vortici ciclonici, che noi nomiamo macchie solari, mentre, d'altro lato, comparativamente pochi composti appaiono esser capaci di esistere dentro ed immediatamente sopra la superficie della fotosfera.

(1) Vedi Capo XIII.

Digitized by Google

Può altresì essere osservato che molti composti sono ora conosciuti dai chimici, che possono essere soltanto artificialmente prodotti nei nostri laboratori alla temperatura dell'arco elettrico, che è considerevolmente più bassa di quella superficie della fotosfera, e quasi infinitesimamente piccola al paragone di quelle temperature che probabilmente si trovano nelle parti centrali del sole. Questa formazione di composti chimici ad alte temperature, sebbene tendente nella stessa direzione delle conclusioni a cui si è giunti altrimenti rispetto all'origine delle sostanze radio-attive, non può essere considerata come recante una evidenza addizionale recisamente definita in favore di quelle. I composti chimici sono formati colla riunione ed adesione d'atomi d'elementi vari nelle molecole senza qualsiasi distruzione e riassestamento dei componenti degli atomi stessi, o dei sub-atomi, come noi li abbiamo nominati. Le sostanze radio-attive, d'altro lato, sono certamente fabbricate per mezzo di riassestamenti dei sub-atomi in elementi nuovi, e può esser supposto che una distinzione così fondamentale renderebbe senza valore ogni analogia fondata sulle somiglianze presunte nei loro metodi di formazione. Vi sono, tuttavia, fortissimi motivi per credere che il riassestamento dei sub-atomi di una sostanza radio-attiva, durante la trasmutazione in un altro membro della sua serie, o più alto o più basso, sia generalmente molto parziale, e che in esso cioè molti dei gruppi dei sub-atomi rimangano inalterati. Questa quistione viene considerata nel Capo XIV, e vi si vedrà che l'evidenza ottenuta dalla formazione di composti chimici è niente affatto priva di valore.

Vi è un'altra direzione dalla quale un'ulteriore evidenza potrebbe forse essere sul punto di comparire. Egli è stato di già notato che le osservazioni terrestri non hanno sin qui fornito indicazioni circa la disintegrazione esplosiva di sostanze radio-attive. Se le sostanze radio-attive sono fabbricate ad altissime temperature e pressioni, come è indicato da considerazioni termo-dinamiche, la disintegrazione esplosiva, se pur essa avviene, deve il più verosimilmente accadere nel caso che un membro, instabile ad alto grado, della serie radio-attiva, abbia a subire una grande ed istantanea diminuzione di pressione e di temperatura. Se queste condizioni concorrono in qualunque luogo sulla superficie della terra, sarà durante un'eruzione vulcanica.

Io credo che i geologi siano d'accordo nel ritenere che la violenza esplosiva colla quale i gaz e la materia liquida sono proiettati durante queste perturbazioni sia pienamente spiegata dalle enormi pressioni

Digitized by Google

che nascono dall'assorbimento, da una roccia silicea liquefatta, di acqua penetrante a grandi profondità, a cagione del fatto che essa ne trasporta l'acido silicico a temperatura al di sopra di 300° C., ed a cagione della grande espansione che ne risulta. Caso mai fosse trovato che i prodotti radio-attivi sono sprigionati in qualche considerevole quantità durante tali perturbamenti, ciò fornirebbe una valida conferma dell'ipotesi che io ho suggerita come un possibile metodo di spiegare l'origine delle protuberanze solari, ed in tal caso potrebbe esserne dedotto che parte dei fenomeni esplosivi, osservati in connessione coll'azione vulcanica terrestre, fosse probabilmente anche dovuta alla disintegrazione di materiale radio-attivo.

Digitized by Google

CAPO XII.

La corona solare, l'aurora polare e le code delle comete.

Poco tempo prima della verifica sperimentale di Lebedeff dell'esistenza di una pressione di radiazione, Arrhenius richiamò l'attenzione sulla sua importanza nel fornire spiegazioni possibili di varii fenomeni celesti. D'allora in poi egli ha dedicato molta applicazione a quest'argomento, ed un ottimo sommario dei risultati a cui egli è giunto è dato in forma popolare in un piccolo libro che fu pubblicato alla fine del 1907 ed è di poi apparso tradotto in italiano sotto il nome di *Il divenire dei mondi*. La pressione di radiazione alla superficie del sole è di molto più grande del suo valore alla superficie della terra. Nel primo caso si stima che la pressione, derivante da questa sorgente, sulla superficie di un corpo nero sulla quale i raggi cadano verticalmente, sia equivalente al peso di circa milligrammi 2 e $^3/_4$ per ogni centimetro quadrato di superficie esposta.

Se noi immaginiamo una piccola sfera nera riflettente la totalità della luce cadente sopra di essa, allora, se questa luce è tutta della stessa lunghezza d'onda, e per conseguenza dello stesso colore, egli è facile di calcolare la pressione totale sulla sfera dovuta a tale radiazione *omogenea*. La direzione della pressione è la stessa come quella dei raggi che colpiscono la sfera. La radiazione dal sole non è omogenea, ma se noi prendiamo la lunghezza d'onda come quella della radiazione *maximum*, il risultato così ottenuto sarà solo leggerissimamente in eccesso oltre il valore reale.

Arrhenius ha dimostrato in questa guisa che una piccola sfera del genere supposto, e della stessa densità dell'acqua, sarebbe appunto mantenuta in equilibrio vicino alla superficie del sole sotto la forza

Digitized by Google

attrattiva della gravità del sole, e la forza ripulsiva dovuta alla sua radiazione, se il diametro della sfera fosse di circa 1 e ½ millesimi di millimetro. La forza ripulsiva raggiungerebbe un valore di circa dieci volte tanto quanto l'attrazione del sole nel caso di sfere con un diametro di circa un decimo di quello. La totale pressione di radiazione sopra un corpo è, restando uguali le altre condizioni, proporzionale alla sua area effettiva (1). Ora, quest'area è proporzionale al quadrato delle dimensioni lineari, mentre il volume, e quindi la massa, è proporzionale al cubo. L'effetto della pressione di radiazione, relativamente all'attrazione di gravitazione, aumenterà quindi man mano che la dimensione del corpo diminuisce. La teoria non indica limiti alla picciolezza delle particelle capaci di cagionare la dispersione della radiazione incidente su di essi, e che vi è una evidenza sperimentale di tale diffusione nel caso di particelle piccole quanto le molecole di aria. Possiamo quindi aspettarci che la pressione di radiazione dia origine ad altissime velocità quando essa agisce sulle particelle alfa, e sulle ancor più piccole particelle beta.

La corona del sole e le luci polari. — Durante totali eclissi del sole un involucro luminoso esterno è osservato intorno alla cromosfera. Esso presenta un'apparenza di grande splendore quando la luna ha completamente occultato quest'ultima al nostro sguardo, ma finchè una qualche porzione della cromosfera rimane visibile, il suo maggior splendore rende completamente invisibili le adiacenti porzioni della *corona*, com'è denominata. La interna parte della corona, che si estende ad una distanza di sole poche migliaia di miglia oltre la cromosfera, può essere descritta come un chiarore abbagliante. Parte di questo splendore è stato dimostrato essere dovuta all'atmosfera della terra ed altre cause estranee al sole, ma l'esame spettroscopico fa vedere che parte della luce emana da un involucro solare esterno consistente in gran parte di idrogeno freddo, e contenente, principalmente nelle sue parti esterne, un elemento sconosciuto sulla superficie della terra, che è stato denominato *coronio*, ed è apparentemente più leggero che l'idrogeno. Di gran lunga più interessanti ed enigmatiche sono le fiamme che formano ciò che è generalmente noto come la corona

(1) L'area effettiva è qui chiaramente l'area massima d'una sezione perpendicolare alla direzione di incidenza.

Digitized by Google

esterna, e che sono state osservate come estendentisi a distanze di molto più di 400.000 miglia (624.000 km.) dalla superficie del sole.

Delle osservazioni spettroscopiche fatte dapprima durante l'eclisse totale del 1868 mostrarono che le fiamme consistono, non di materia gazosa, ma di particelle liquide o solide. Durante i periodi di minima perturbazione delle macchie solari le principali fiamme irradiano verso l'esterno dai due punti equatoriali del disco solare, suggerendo l'esistenza di una cintura equatoriale di tali particelle projettate dal sole. Le fiamme comparativamente deboli che emanano da punti più vicini ai poli del sole appaiono essere inclinate circolarmente verso questa cintura equatoriale, altrettanto come se esse fossero seguendo le linee di forza di un magnete con poli coincidenti approssimativamente con i poli geografici del sole. Durante i periodi della maggiore perturbazione delle macchie solari, le fiamme appaiono emanare abbondantemente dalle due fascie di macchie solari. Questo fatto talvolta risulta nella corona, che esibisce un contorno più o meno quadrangolare; oppure le fiamme possono anche apparire di irradiare con approssimativa uniformità da tutte le parti del disco del sole.

Sir Oliver Lodge considera che queste fiamme possono con molta probabilità essere dovute alla scarica di elettroni dal sole nel vuoto approssimativo, di sua vicinanza immediata, ed osserva anche che questo spiegherebbe il fatto noto che la terra sia altamente carica di elettricità negativa, dacchè una delle conseguenze di questo bombardamento di elettroni, che si estende in regioni dello spazio dove non esiste materia residua, sarebbe la graduale accumulazione di elettricità negativa dalla terra. Egli osserva altresì che la corrente di elettricità portata da questi torrenti di particelle fornirebbe una facile spiegazione di una classe di temporali magnetici che da lungo tempo sono stati conosciuti per avere stretti rapporti colla variazione delle macchie solari.

« I nuclei elettrici, quando essi formano joni, servirebbero pure quali centri di condensazione del vapore acqueo atmosferico ad alte altitudini, e così sarebbero incaricati di esercitare un' influenza sulla caduta della pioggia. Inoltre, il fatto che il vapore acqueo si condensa molto più facilmente sui joni negativi anzichè su quelli positivi, sembra fornire a noi una spiegazione dell'elettricità atmosferica, poichè una caduta di pioggia porterebbe giù con sè una carica negativa, e lascierebbe le regioni superiori elettrizzate positivamente rispetto alla super-

Digitized by Google

ficie della terra: e questo concorda con il segno noto del campo normale della forza elettrica nell'atmosfera ». (1)

Arrhenius aveva di già supposto che le fiamme fossero composte di particelle elettrizzate negativamente emesse dal sole, e fece di questa ipotesi la base di una spiegazione di quei fenomeni terrestri, comunemente conosciuti col nome di aurore boreali, o luci polari. Quest'ultimo termine è preferibile, dacchè i fenomeni sono ugualmente segnalati nelle vicinanze di ambedue i poli della terra, sebbene esse fossero dapprima osservate nelle regioni polari del Nord; ciò essendo dovuto al fatto che le esplorazioni artiche hanno preceduto quelle della zona antartica.

Se la proiezione di materia dall'interno del sole è, come noi ne vedemmo la ragione di supporlo, assai abbondantemente dovuta alla disintegrazione esplosiva di materia radio-attiva, l'emissione di entrambe le particelle alfa e beta in numeri considerevoli deve essere aspettata.

I risultati di osservazioni delle protuberanze solari, e più particolarmente l'informazione che lo spettroscopio ci dà circa i materiali di cui esse sono composte, mostrano tuttavia che i materiali espulsi consistono per grandissima parte di materia ordinaria proiettata per la forza dell'esplosione. In verità, egli è probabilissimo che le porzioni le più minutamente divise di materia espulsa, generalmente conosciute col nome di *polvere solare*, abbiano una stretta somiglianza colle nuvole di *polvere vulcanica* espulse dai vulcani terrestri. La scala delle eruzioni terrestri è solamente una scala meschina al paragone di quelle osservate nel sole, la massima altezza di nuvole di polvere vulcanica osservata essendo soltanto un'inezia di qualche 18 miglia (27 km.) quando la si paragoni colle altezze delle protuberanze solari che sono state osservate estendersi tanto quanto 370.000 miglia (595.700 km.). Queste nubi terrestri di pulviscolo comparativamente insignificanti, tuttavia frequentemente si espandono sovra ampie aree mediante l'azione delle correnti atmosferiche, e molti lettori rammenteranno i notevolissimi tramonti rossi che furono osservati per molte settimane consecutive, ben anche in Europa, dopo l'eruzione del Mont Pelé nell'isola della

(1) *Elettroni*. p. 168.

Digitized by Google

Martinica nell'anno 1902, e che erano dovute alla disseminazione di polvere vulcanica proiettata durante l'eruzione.

Noi possiamo quindi considerare la materia emessa dal sole quale consistente principalmente di particelle di materia ordinaria in un fine stato di divisione, che noi possiamo denominare *polvere* o *pulviscolo solare*, e che sarebbe accompagnata, secondo ogni probabilità, da numeri considerevoli di particelle alfa cariche positivamente e di elettroni negativi o particelle beta. Una velocità iniziale di qualche poco minore di 400 miglia al secondo porterebbe alcune di queste particelle oltre i limiti dell'attrazione di gravitazione del sole senza l'aiuto della pressione di radiazione. Ora, questa pressione di radiazione da sola, agendo sopra una sfera avente un diametro di 15 microns (1), porterebbe questa, se originariamente fosse in riposo e se fosse di una densità uguale a quella dell'acqua, attraverso alla distanza che separa il sole dalla terra, in circa cinquantasei ore, ad una velocità media di circa 500 miglia al secondo (800 km.). Simili particelle di una minore densità dell'acqua viaggierebbero più rapidamente, come pure se fossero particelle più piccole. Una grande proporzione delle particelle più piccole della polvere solare passeranno quindi oltre i limiti dell'influenza del sole e cadranno definitivamente sulla superficie di altri corpi celesti. Le velocità di emissione delle particelle alfa e beta rispettivamente, osservate nelle condizioni terrestri, variano tra valori approssimantisi a 17.000 miglia al secondo e 170.000 miglia al secondo rispettivamente. Questi valori possono forse essere di qualche poco differenti nelle condizioni solari, ma la probabilità che essi siano di una tale differenza da bastare per influenzare il nostro presente argomento è così piccola da essere trascurabile. Noi quindi supporremo i valori essere uguali, come pure che il potere penetrativo delle particelle beta sia circa cento volte quello delle particelle alfa, come avviene nelle condizioni terrestri. Se esse fossero emesse dalla superficie del sole, esse avrebbero da attraversare l'intiero spessore della di lui atmosfera, e nel far ciò, perderebbero la più gran parte della loro velocità iniziale di proiezione, cosicchè le velocità loro non eccederebbero grandemente quelle provenienti a loro dalla sola pressione di radiazione. Appare verosimil-

(1) Rammentiamo che il μ (micron) è un millesimo di millimetro. (*Nota del traduttore*)

Digitized by Google

mente, tuttavia, che delle masse non desintegrate dell'esplosivo radioattivo sarebbero scagliate ad altezze sufficienti da permettere che le particelle liberate dalla desintegrazione ulteriore passino oltre la zona d'influenza dell'attrazione di gravitazione del sole con rapidità paragonabili con quelle raggiunte dalle particelle alfa e beta nelle condizioni terrestri. Quando le particelle espulse giungono alla parte esteriore e più fredda dell'atmosfera solare, esse comincieranno a crescere di dimensione per l'aggiunta all'esterno di umidità. Conviene aspettarci che alcune delle particelle che si muovono più lentamente, in questo modo raggiungano dimensione sufficiente perchè l'effetto della pressione di radiazione sia più che compensato dall'attrazione di gravitazione del sole, nel qual caso esse rimarranno sospese per qualche tempo sotto forma di nuvole, e poichè esse continuano ad accrescere in dimensione per ulteriore addizione esterna di umidità, esse finalmente ricadranno sulla superficie del sole.

Il rapporto del numero delle particelle permanentemente emesse dal sole al numero ricadente sulla di lui superficie sarà più alto nel caso delle particelle beta che in quello delle particelle alfa, in ragione delle più alte velocità iniziali di quelle prime, e della dimensione loro minore; poichè, in conseguenza delle loro più alte velocità iniziali, e della loro più alta accelerazione sotto l'azione della pressione di radiazione, dovuta alla loro massa più piccola, le particelle beta saranno esposte per periodi più corti di quelli delle particelle alfa all'addizione esterna di umidità. Inoltre, a cagione della dimensione minore delle prime, l'aggiunta esterna di umidità sufficiente per produrre il loro ritorno al sole richiederebbe un periodo molto più lungo di esposizione di quello che sarebbe richiesto nel caso delle ultime, mentre l'effetto della pressione di radiazione sarebbe più grande relativamente all'effetto di gravitazione.

La proporzione della polvere solare non carica sarebbe, per consimili ragioni, ancor più piccola che nel caso delle particelle alfa. La più larga proporzione delle particelle beta projettate, in paragone colle particelle alfa, darà origine ad un efflusso risultante dal sole, di elettricità negativa, come si richiede per la spiegazione dei fenomeni osservati della elettricità atmosferica terrestre. Delle particelle cariche, come conseguirà dai risultati sperimentali considerati nel Capo VII, molte si riuniranno in massa insieme spontaneamente durante il viaggio dal sole, e così aumenteranno la proporzione di particelle neutrali o non cariche.

Digitized by Google

La deviazione osservata delle fiamme della corona verso l'equatore del sole suggerisce certamente la presenza di particelle cariche, come pure l'esistenza di un campo magnetico solare permanente di un carattere alquanto consimile di quello della terra. Questo, come noi sappiamo, devierebbe le particelle beta molto maggiormente che le particelle alfa, ma se questa è la vera spiegazione della deviazione osservata, la picciolezza del suo ammontare mostra che il campo magnetico solare non può essere forte abbastanza da diminuire sensibilmente la proporzione delle particelle sfuggenti, ma risulterà semplicemente in qualche po' di aumento della concentrazione delle fiamme verso il disco equatoriale. Noi dovremmo ritenere che questo disco consista di due porzioni comparativamente dense corrispondenti alle fascie di macchie solari, che si estendono dalla latitudine di 30° a 35° da ciascun lato dell'equatore del sole.

È stato supposto da Arrhenius che le luci polari siano dovute al cozzo della polvere solare sopra gli strati superiori dell'atmosfera terrestre, ed alla riproduzione dei fenomeni di un tubo vuoto, nell'aria altamente rarefatta; il che avvenga per mezzo delle particelle cariche seguenti le linee di forza del campo magnetico della terra che convergono verso due punti situati ad una piccola distanza al disotto della superficie terrestre, rispettivamente nella vicinanza dei poli nord e sud. Se le luci polari (ossia le aurore boreali) fossero prodotte come è supposto, dalle fiamme, che partono dalla corona solare, noi dovremmo aspettarci di trovare un minimo, ben distinto, negli sfoggi delle luci polari quando la terra trovasi nel piano equatoriale del sole, ed un massimo, ben distinto, quando essa s'approssima il più da vicino alle latitudini delle fascie di macchie solari. Ora il piano dell'orbita della terra, ossia il piano dell'eclittica (com'essa è altresì detta) è inclinato con un angolo di circa 7° rispetto al piano equatoriale del sole. La terra quindi non apparirebbe mai allo zenith, ossia verticalmente al disopra della di lui testa, ad un osservatore che si trovasse sulla superficie del sole ad una altitudine più grande di 7°. La terra attraversa il piano dell'equatore del sole al 4 di giugno ed al 6 di dicembre, e raggiunge la sua più grande distanza da esso tre mesi più tardi, cioè in settembre ed in marzo rispettivamente. Il maggior numero di particelle dovrebbe quindi giungere alla terra durante i due ultimi mesi (settembre e marzo) ed il numero più piccolo durante gli altri due anzidetti (giugno e dicembre).

Digitized by Google

Queste conclusioni sembrano essere confermate da osservazioni della frequenza relativa degli sviluppi di luce polare, considerando la difficoltà di ottenere registrazioni continue. Entro i circoli polari, dove i risultati i più conseguenti devono aspettarsi, la continuazione della luce diurna rende impossibili praticamente le osservazioni, ed anche in qualcuna delle latitudini più basse il crepuscolo disturba grandemente le osservazioni. Arrhenius ed Ekholm hanno ordinato in tabelle un gran numero di registrazioni fatte in Svezia, in Norvegia e negli Stati Uniti, ed un numero minore di esse raccolte nell'emisfero Sud. Nelle quattro raccolte vi sono tre massimi ben segnati in marzo, uno in aprile, uno in settembre e tre in ottobre.

A. Paulsen, che ha arricchite considerevolmente le nostre conoscenze circa le luci polari, trova che esse avvengono naturalmente suddivise in due distinte classi. Quelle della prima classe consistono di un dolce splendore, che appare usualmente in forma di arco, o serie di archi, l'uno sopra l'altro e che hanno le loro sommità nel meridiano magnetico del posto d'osservazione. Tale luminosità è stata osservata ad altezze pari a 250 miglia (400 km.). Esse sono quasi esclusivamente confinate nella vicinanza delle regioni polari, e la loro massima frequenza è raggiunta non ai poli, ma in strette zone circolari che inchiudono il polo magnetico e quello geografico. Quella settentrionale passa al nord della Nuova Zembla, lungo la costa nord-ovest della Norvegia, un poco al sud dell'Islanda e della Groenlandia, attraverso la baia di Hudson e la parte nord-ovest dell'Alaska. La luce emanante da questa sorta di aurora è notevolmente costante e gli archi non sono soggetti a cambiamenti di forma subitanei, ma per solito appariscono fluttuare lentamente verso lo zenith. Può essere a cagione di questa costanza che non è stata osservata connessione diretta tra lo sfoggiare delle aurore di tal carattere e le perturbazioni magnetiche terrestri.

La seconda classe di luci polari è formata da quelle che hanno l'apparenza di raggi o vampe, le quali sono talvolta affatto separate, ma più frequentemente fuse l'una nell'altra, specialmente nelle parti più basse assumendo la parvenza di una sottile drapperia sospesa. La direzione loro è sempre approssimativamente quella della forza magnetica della terra al sito dell'osservazione. Esse sottostanno a grandi e rapidi variazioni che sono osservate influenzare l'ago magnetico. È stato notato da Paulsen che quando uno di questi nastri di luce passa attraverso lo zenith da nord a sud, l'ago magnetico è deviato verso l'ovest.

Digitized by Google

Questo, com'egli ha osservato, indica il passaggio all'ingiù di elettricità negativa, tale come sarebbe, se dovuta a particelle catodiche o beta. Le aurore di questo carattere sono molto più ampiamente distribuite di quelle della prima classe, ma esse accadono il più frequentemente entro le stesse zone delle prime (1). I periodi di massima e di minima frequenza, rispettivamente, delle aurore della seconda classe si trovano concordare strettamente con quelli di massima e minima frequenza delle macchie solari, e con i periodi corrispondenti di variazione massima e minima nella direzione e nell'intensità del magnetismo terrestre; ma tale relazione non è stata osservata nel caso delle aurore della prima classe.

Egli è evidente che i fenomeni del genere dianzi descritto non potrebbero essere dovuti semplicemente a particelle non cariche del pulviscolo solare, le quali non sarebbero influenzate dalla forza magnetica terrestre. Noi possiamo quindi lasciare fuori di conto le particelle non cariche, e concentrare l'attenzione nostra intieramente su quelle cariche. Come esse s'approssimano alla superficie della terra esse entrano nel campo magnetico terrestre. Ora, la maggior parte delle linee di forza della terra lasciano la superficie della terra od entrano in essa nelle zone settentrionale e meridionale, rispettivamente, dello sviluppo massimo delle aurore. Il campo magnetico terrestre potrebbe quindi essere rappresentato, con una convenientemente stretta approssimazione, da quello di una spranga magnetica leggermente più corta che il diametro polare della terra, collocata col suo centro al centro della terra, e colle sue estremità verticalmente al disotto dei poli magnetici della terra. Si vedrà allora che le linee di forza magnetica della terra intersecheranno il piano dell'equatore con molta approssimazione, ad angoli retti. Le particelle cariche elettricamente che incontrano le linee magnetiche ad angoli retti saranno quindi puramente deviate in una direzione pressochè ad est o ad ovest, mentre quelle i di cui movimenti hanno una componente, o verso nord, o verso il sud, continueranno a muoversi verso nord o verso sud come precedentemente,

---

(1) Le aurore della seconda classe si manifestano talvolta ancora in latitudini molto basse. Memorabile è stata quella osservata per due sere consecutive circa alla metà di ottobre 1870, in Torino ed altre regioni dell'Alta Italia. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

ma comincieranno pure a muoversi in una curva ad elica (spirale) avente il suo asse nella direzione delle linee di forza, l'elica essendo destrorsa o sinistrorsa secondo il segno della carica e la direzione del moto lungo le linee di forza. La distanza della particella dall'asse dell'elica entro cui essa sta muovendosi è data dall'espressione mv sen θ/eH, come è detto a pagina 113. Per le differenti particelle beta la ragione m/e rimane costante, ed il valore di H è fissato dalla posizione relativa alla terra, ed aumenta rapidamente verso i poli. Il percorso di una particella beta che entra nel campo della terra ad un punto dato dipenderà quindi dal valore di v sen θ. Più piccolo sarà questo prodotto, e più strettamente s'aggirerà la particella attorno le linee di forza fintantochè essa raggiunge la superficie della terra nella vicinanza di uno dei poli. Questo è lo stesso come dire che quanto più piccola sia la velocità con cui la particella entri in una data parte del campo della terra, e quanto più acuto sia l'angolo con cui essa incontra le linee di forza, e tanto più strettamente essa seguirà queste linee di forza ai poli. Se v sen θ diviene più grande, sia coll'aumento della velocità, oppure sia col fare l'angolo θ più prossimo ad un angolo retto, e la particella si muoverà entro una spirale di più grande diametro, e raggiungerà quindi la terra ad una distanza maggiore dai poli. Lo stesso ragionamento si applica alle particelle alfa quando sono paragonate soltanto l'una coll'altra; ma, come noi vedemmo nel Capo VII, m/e è di gran lunga più grande per le particelle alfa, cosicchè esse seguono le linee di forza secondo spirali molto più grandi che le particelle beta, e saranno quindi meno concentrate verso i poli.

Egli è evidente che il numero delle particelle provenienti dal sole le quali entrano nel campo magnetico della terra secondo un meridiano sarebbe massimo quando è mezzogiorno a quel meridiano, cioè quando il sole è nel punto più prossimo allo zenith. Gli sviluppi delle aurore dovrebbero quindi raggiungere un massimo poco tempo dopo. Questo non può essere completamente verificato, poichè esse sono invisibili, eccetto che durante le ore di oscurità, ma ciò è in armonia col fatto osservato che lo svilupparsi delle aurore è molto più frequente prima di mezzanotte che dopo di essa.

Se noi consideriamo l'effetto dell' inclinazione dell'asse della terra sul piano dell'eclittica, noi vedremo che l'effetto della recessione di ciascun polo dal sole sarà per aumentare il numero delle particelle che incontrano le linee di forza della terra ad angoli tali da portarle

Digitized by Google

verso il polo, e quindi sarà per accrescere gli sviluppi di aurore durante l'inverno e diminuirli durante l'estate. Quindi sarebbe difficilmente possibile di osservare i piccoli massimi e minimi secondari, poichè, oltre all'essere mascherate per le ragioni precedentemente considerate, le aurore polari sarebbero invisibili durante le chiare notti estive.

È stato suggerito da Arrhenius che le aurore della prima classe siano dovute a particelle cariche muoventisi relativamente lentamente, le quali sono pressochè tutte deviate verso le regioni polari quando esse entrano nel campo magnetico della terra, e che quelle della seconda classe siano da attribuirsi alle particelle muoventisi più rapidamente, che sono emesse dal sole in proporzioni maggiori durante i periodi di alta attività delle macchie solari. Egli suppone inoltre che esse sono portate via dal sole, non già per le velocità loro di proiezione, ma per l'azione della pressione di radiazione; ma questa conclusione è basata sopra l'assunto erroneo che la pressione di radiazione non abbia effetto su particelle di una dimensione minore di un certo minimo (1).

Noi dobbiamo quindi modificare l'ipotesi col presumere che le aurore della prima classe sono dovute a particelle beta che si muovono lentamente in paragone delle loro velocità originali di proiezione, ma molto più rapidamente di quelle emesse dalla sola pressione di radiazione. Tali particelle difficilmente rimarrebbero abbastanza a lungo in vicinanza di vapore acqueo perchè un qualche considerevole accrescimento esterno possa aver luogo. La loro collisione colle molecole dei gaz dell'atmosfera spiegherebbe i fenomeni luminosi osservati, ed il piccolo valore del rapporto m/e, in combinazione colle loro velocità comparativamente basse, spiegherebbe la loro deviazione verso le regioni polari della terra. Le più violenti eruzioni solari, principalmente se associate con periodi di alta attività delle macchie solari, potrebbero

(1) Il prof. ARRHENIUS, in una lettera del 20 dicembre 1909, sostiene la correttezza delle sue conclusioni, riferendosi ad una memoria di K. SCHWARZSCHILD (*Münchener Berichte*, vol. XXXI, p. 293, 1901) citata da lui nel *Worlds in the making*, p. 97. I calcoli di questa memoria, tuttavia, sono basati sopra equazioni di Maxwell circa la forza elettrica riferita ad assi muoventisi attraverso all'etere. Larmor ha dimostrato (*Æther and Matter*, Capo VII) che le se-equazioni sono scorrette, il che spiega la discrepanza tra le conclusioni di Schwarzschild e quelle derivate dall'analisi e dai risultati sperimentali di Lord Rayleigh.

Digitized by Google

dar luogo ad espulsioni di più grandi quantità di sostanze radio-attive, ed alle più grandi altezze. Le particelle beta muoventisi più rapidamente giungerebbero quindi alla terra, ed esse sarebbero accompagnate da una certa proporzione di particelle alfa. Le particelle beta muoventisi rapidamente sarebbero sottoposte a deviazione molto minore nel campo magnetico terrestre, che non quelle che si muovono comparativamente a rilento, le quali sarebbero responsabili delle aurore della prima classe, e questo spiegherebbe soddisfacentemente la più ampia distribuzione delle aurore della seconda classe. Le loro più alte velocità accrescerebbero la loro azione magnetica. Inoltre i loro effetti magnetici sarebbero molto più agevolmente osservati, in conseguenza delle variazioni nella direzione dei loro movimenti, di quelli di particelle che segnano strettamente le linee di forza. Una spiegazione delle vampe potrebbe forse essere derivata da queste considerazioni, sebbene io non veda come il semplice aumento di velocità, e di variazioni in direzione, spiegherebbe la produzione di strie apparentemente analoghe a quelle vedute nei tubi vuoti, ma seguenti le linee di forza magnetica invece dell'asse del tubo. A me sembra tuttavia che i fenomeni di questo genere sono esattamente ciò che potremmo aspettarci di veder sorgere in presenza di particelle alfa tanto come di particelle beta. Le prime sarebbero anche meno concentrate ai poli che le particelle beta muoventisi rapidamente. Esse circolerebbero attorno alle linee di forza nella direzione opposta a quella delle particelle beta, in spirali ad elica di più largo raggio, e l'impulso trasversale alle linee di forza ed il moto lungo di esse sarebbero ad una stregua più bassa. Le collisioni le quali, in queste circostanze, avrebbero luogo tra le due serie di particelle apparirebbe essere affatto sufficiente per spiegare gli svariati e rapidamente cangianti fenomeni esibiti dalle vampe delle aurore.

L'emissione continua di particelle elettrizzate negativamente dal sole, avrebbe per risultato, ammenochè fosse compensata in qualche modo, la costantemente crescente elettrizzazione positiva del sole, il che impedirebbe alla fine ogni ulteriore emissione di particelle elettrizzate negativamente. Tuttavia codesta carica avrebbe per conseguenza di attrarre nel sole dallo spazio circostante delle particelle elettrizzate negativamente emesse da altri corpi celesti. Ogni aumento nella carica elettrica del sole accrescerebbe il suo potere di attrarre a sè particelle negative, finchè non fosse raggiunta una condizione di equilibrio.

Digitized by Google

Pressione di radiazione e code di comete. — La ripulsione dal sole della materia di cui sono formate le code delle comete è un altro fenomeno che è spiegato dall'azione della pressione di radiazione. L'esistenza di questa ripulsione fu dimostrata da Keplero nel 1618, il quale la ascrisse al cozzo dei raggi luminosi dal sole, ma sull'ipotesi erronea, allora generalmente accettata, che i raggi di luce fossero dovuti alla emissione di piccoli corpuscoli di corpi luminosi. Delle osservazioni fatte nell'ultima parte del diciannovesimo secolo hanno dato dei valori per la forza repulsiva, che variano, per differenti comete, da ammontari appena debolmente in eccesso sull'attrazione di gravitazione del sole ad ammontari di circa quaranta volte più grandi. Osservazioni spettroscopiche mostrarono che le code delle comete sono composte di particelle solide, e non già di masse di gaz, ed indicano che esse consistono in gran parte di idro-carburi.

La luminosità delle masse di particelle solide formanti le code delle comete, considerando le basse temperature che devono prevalere eccetto quando esse sono nella vicinanza del sole, ha tenuto per lungo tempo nell'imbarazzo gli astronomi. Essa può essere spiegata in modo semplicissimo con il cozzo degli elettroni, i quali, come noi abbiamo veduto, vanno secondo tutta probabilità, continuamente lasciando il sole ed entrandovi in larghe proporzioni.

Digitized by Google

Capo XIII.

Radio-attività nelle stelle e nelle nebulose.

Si è fatto cenno nel Capo XI, della supposizione di Arrhenius che l'origine delle sostanze radio-attive dovesse essere ricercata nei primi stadi di sviluppo di una stella, quando la pressione e la temperatura andavano insieme aumentando. Io mi propongo ora di considerare la natura dell'evidenza che ci adduce alla conclusione che il nostro sistema solare è passato attraverso uno stadio in cui queste condizioni erano adempiute.

La prima teoria scientificamente costrutta circa lo sviluppo del sistema solare fu l'ipotesi delle nebulose condotta a termine da Laplace nell'anno 1776. Delle supposizioni generiche di un carattere qualche po' consimile sono state fatte dal religioso mistico Swedenborg nel 1734, qualche poco più tardi dall'eminente filosofo Kant, nessuno dei quali però riuscì a sviluppare la propria supposizione in una teoria coerente colle leggi fisiche. Laplace tolse a punto di partenza una massa gazosa che riempisse, e si estendesse molto lungi oltre i presenti limiti del sistema planetario, ed avesse una rotazione iniziale intorno ad un asse centrale. Era necessario di presupporre questa rotazione iniziale a fine di spiegare la rotazione del sistema, poichè essa non poteva scaturire dalle forze centrali di gravitazione. Una tal massa si sarebbe gradatamente contratta sotto l'influenza della sua propria gravitazione, ed, in queste condizioni, consegue dalle ben note leggi dinamiche l'inevitabile aumento della rapidità di rotazione. Quando questa rapidità fosse giunta ad un certo valore critico, l'accelerazione centrifuga delle particelle ultime esternamente bilancierebbe l'accelerazione dovuta ad attrazione di gravitazione verso il centro, col risultato che un anello

Digitized by Google

formato dalle particelle esterne si sarebbe separato e sarebbe rimasto addietro per la contrazione della massa interiore. Un consimile processo sarebbesi ripetuto di nuovo e da capo ancora fintantochè l'accrescentesi densità della parte centrale, e la decrescente distanza dal centro avrebbero cagionato tale un aumento nella forza di gravitazione da impedire la separazione di ulteriori anelli. È stato supposto che gli anelli così formati in generale si sarebbero divisi per causa di forze perturbatrici e ciascuno di essi avrebbe formato un singolo pianeta, che sarebbesi a sua volta spogliato di ulteriori anelli, i quali, per la massima parte, si spezzerebbero nello stesso modo per formare satelliti; ma l'esistenza degli anelli di Saturno appariva indicare la possibilità della continuazione dell'esistenza degli anelli, in tale forma loro. Questa teoria spiegava il fatto che le orbite dei pianeti e dei loro satelliti tutte giacevano, per quanto allora fosse dato di conoscere, molto prossimamente nel piano dell'eclittica, e tutte giravano attorno al sole nella direzione istessa, nella quale il sole medesimo va roteando. L'indagine di Clerk-Maxwell sulle condizioni di equilibrio degli anelli di Saturno ha dimostrato che anelli liquidi o gazosi sarebbero instabili, e che questo si applicherebbe pure ad anelli solidi continui ammenochè certe condizioni oltremodo improbabili fossero adempiute. Dei tali anelli devono quindi spezzarsi in masse separate, e se queste variassero grandemente in dimensione, le maggiori tenderebbero ad attirare a loro stesse quelle più piccole, finchè finalmente una sola luna fosse formata. La sola soluzione praticamente possibile era che gli anelli consistessero di un immenso numero di piccoli corpi, tutti all'incirca delle stesse dimensioni. Tutto ciò concordava molto bene colla teoria di Laplace. Appariva probabile che le condizioni richieste per la persistenza di tali anelli non erano verosimilmente per essere adempiute molto di frequente, ed, inoltre, esse non sarebbero in ogni caso tanto persistenti, quanto le ordinarie singole lune, perchè le collisioni tra di esse avrebbero per risultato per molte di esse la caduta nel corpo centrale, mentre altre potrebbero collegarsi l'una coll'altra, formando un anello di corpi largamente separati, tali come noi troviamo nel caso della cintura di piccoli pianeti conosciuti come asteroidi. Una considerevole difficoltà era lo spiegare la separazione di anelli di profondità sufficiente da bastare per formare i più grandi pianeti, e vi erano pure altre minori difficoltà; ma a dispetto di queste, la teoria spiegava convenientemente bene i fatti conosciuti al tempo in cui essa fu proposta, e formava quindi una ipotesi operativa del

Digitized by Google

pi ù gran valore. La scoperta dei due estremi pianeti più esteriori del nostro sistema introdusse delle difficoltà di un ordine intieramente più elevato. Le orbite di ambidue, Uranio e Nettuno, sono inclinate sul piano dell'eclittica con angoli molto considerevoli, di gran lunga troppo grandi per ammettere per essi la spiegazione di perturbazioni dovute a piccole forze, presunte essere le cause delle relativamente piccole deviazioni delle altre orbite planetarie. Oltre a ciò, la luna di Nettuno si muove nella direzione opposta a quella richiesta dalla teoria di Laplace, e così fa pure la luna esterna di Saturno, che fu dapprima osservata da Pickering nel 1898, e l'ottava luna di Giove, che fu scoperta da Melotte all'osservatorio di Greenwich nel gennaio 1908. L'esistenza di questi moti retrogradi è indizio di una complessità molto più grande di quella presunta da Laplace nelle condizioni colle quali il nostro sistema solare venne ad esistere.

La teoria di Laplace può, tuttavolta, essere al massimo considerata soltanto quale una prima approssimazione, per quanto essa concerne il nostro sistema solare.

Se peraltro l'universo delle stelle ha avuto un principio definito, la teoria di Laplace può rappresentare molto bene il metodo con cui i primissimi sistemi di stelle furono formati.

La nostra attuale conoscenza di questi sistemi tende alla conclusione che il nostro sistema solare dev'essere considerato come di origine recentissima paragonato con le innumerevoli età durante le quali le trasformazioni da nebulose in soli e nei loro sistemi planetari, e da soli e loro sistemi in nebulose, sono andate svolgendosi.

Noi dobbiamo quindi approcciare il problema da un diverso punto di partenza, e sforzarci, coll'osservazione di ciò che ora sta progredendo, di scoprire quali siano le condizioni colle quali tali sistemi come il nostro proprio siansi formati. Questo è stato fatto da Arrhenius ed esposto con molta abbondanza di particolari nella di lui recente opera: *Il divenire dei mondi*, a cui io non saprei far di meglio che rinviare i lettori che possono desiderare più complete informazioni su questi problemi profondamente interessanti. Il resto di questo Capo è invero principalmente un sommario del di lui argomento, con modificazioni occasionali e qualche amplificazione.

Forse la più facile via di approccio a questo problema sarà di considerare la probabile storia futura del nostro proprio sistema solare. Il sole va adesso gradatamente decadendo di temperatura, e se non

Digitized by Google

fosse del ritardo di questo processo di raffreddamento, dovuto alla energia accumulata dei corpi radio-attivi, esso cesserebbe di essere luminoso all'esterno, tutt'al più nel corso di un centinaio di milioni d'anni (1).

La ritardazione radio-attiva potrebbe estendere questo termine sino a migliaia di milioni, e forse anche di più, ma un bilione di anni sembrerebbe essere un estimo affatto estremo per la possibilità della vita del sole come stella luminosa. Noi sappiamo che il sole va muovendosi ad una velocità di circa tredici miglia al secondo (20 km.) nella direzione della costellazione Ercole, e che la presente distanza media di lui dalle stelle le più vicine verso le quali esso si muove è dell'ordine di una qualche sessantina di bilioni di miglia (96 bilioni di km.). Tenendo calcolo del numero di queste stelle e del diametro del sole di circa 850.000 miglia (1.368.500 km.) Arrhenius stima che il più probabile intervallo prima di una collisione con una di quelle stelle sarebbe di un ordine di un centomila bilioni di anni, supponendo che il numero delle stelle visibili rappresentasse il numero totale esistente. Noi abbiamo tuttavia veduto che il nostro sole sarebbe divenuto una stella estinta molto tempo prima d'allora. Presumendo che esso continui ad essere luminoso per un bilione di anni, come sopra è stato detto, la sua futura esistenza come stella estinta, sarebbe di almeno centomila volte quella durante la quale esso sarebbe rimasto luminoso. Noi ne deduciamo quindi che noi possiamo presumere l'esistenza di almeno un migliaio di soli spenti per ciascun sole visibile, e questo ridurrebbe il nostro estimo dell'intervallo probabile prima di una collisione a qualche cifra di un ordine di un centinaio di bilioni di anni. Queste cifre devono soltanto essere considerate come congetture di scorta, e mentre egli è di grande interesse avere una qualche idea delle grandezze implicite, la loro approssimazione, od altrimenti, la loro veridicità non influenza in guisa alcuna la conclusione che tali collisioni debbano accadere nell'universo stellato. Osservazioni dirette eseguite sovra grandi numeri di stelle hanno dimostrato che esse vanno movendosi attraverso lo spazio, alcune più rapidamente, ed alcune altre probabilmente con maggior lentezza, che il sole. Queste misurazioni sono state rese possibili per mezzo dello spettroscopio,

(1) Lord KELVIN. *Baltimore Lectures*, p. 535.

Digitized by Google

il quale ci pone in grado di determinare la velocità con cui ogni stella luminosa va approssimandosi al sistema solare, o va allontanandosene. In queste circostanze delle collisioni devono aver luogo più o meno frequentemente, ma questa conclusione non riposa soltanto sopra tale deduzione.

Gli astronomi sono stati per lungo tempo nell'imbarazzo per l'accidentale subitanea scintillante apparizione di una stella di splendore straordinario in posizioni dove prima non vi era visibile affatto una stella, oppure una ve n'era comparativamente soltanto debole. Dopo un tempo breve queste stelle erano vedute scemare di splendore finchè finalmente esse ridiventavano deboli oppure affatto invisibili.

Prima dell'invenzione dello spettroscopio era impossibile di scrutare il significato di questi fenomeni; ma i risultati di osservazioni spettroscopiche sopra le più recenti « stelle nuove » lasciano poco campo al dubbio che ciò a cui si è assistito in tali casi è nient'altro che il risultato di una simile collisione tra due stelle. Un esempio degno di menzione è quello fornito dalla nuova stella osservata da Anderson nella costellazione di Perseo nel mattino del 22 febbraio 1901.

Prima di considerare particolareggiatamente questo esempio, io ricorderei al lettore che le stelle sono classificate in « grandezze » come esse sono nominate, secondo il loro relativo splendore, le più brillanti essendo qualificate per stelle di prima grandezza. Le stelle di circa due quinti di lucentezza di quella delle stelle di prima grandezza sono dette essere di seconda grandezza, cosicchè una stella di prima grandezza è due volte e mezza più brillante di quella di seconda; una di seconda è due volte e mezza più brillante di una di terza grandezza, e così via, via. La stella Nova di Perseo quando fu dapprima osservata al 22 di febbraio, apparve essere della terza grandezzza, sebbene in una fotografia presa solo ventotto ore prima e che portava segnate le stelle al disotto della dodicesima grandezza, essa fosse affatto invisibile.

La stella deve essere aumentata ad almeno cinque mila volte il suo splendore originale entro il corto intervallo di ventotto ore. Nel giorno seguente, il 23 febbraio, la nuova stella apparve più splendida che ogni altra stella nel cielo ad eccezione di Sirio. Al 25 essa cominciò a scemare di splendore, ma era ancora di prima grandezza. Dal 27 di febbraio in poi essa decadde alla seconda grandezza, col 6 di marzo alla terza, e col 18 di marzo alla quarta. Dopo di questo lo splendore, mentre an-

Digitized by Google

cora in media continuava a decrescere, cominciò ad offrire fluttuazioni di intensità, le fluttuazioni avendo un primo periodo di tre giorni all'incirca, durante i quali lo splendore cresceva costantemente. Col 23 di giugno la stella era caduta alla sesta grandezza, e le fluttuazioni gradatamente diminuivano, finchè di poi il periodo era aumentato sino a circa dieci giorni, ed allora divenne impercettibile, cosicchè la diminuzione di splendore continuò con crescente uniformità. Coll'ottobre essa era caduta alla settima grandezza, col febbraio 1902 alla ottava, col luglio alla nona, e col dicembre 1902 alla decima. D'allora in poi essa è gradatamente caduta alla dodicesima grandezza. Quando la stella era al suo massimo splendore la luce emessa era bianca azzurrognola, e prima che cominciassero ad essere osservate le fluttuazioni essa aveva cangiato, attraverso il giallo al colore rossiccio. Durante le fluttuazioni di lucentezza il colore variava da un biancastro giallo nel punto di intensità massima ad un rossastro al minimo. Finalmente il colore gradatamente cangiava al bianco puro. Primieramente le osservazioni spettroscopiche mostrarono che masse di idrogeno comparativamente freddo framiste con vapori metallici erano emesse dalla stella con una velocità di circa 450 miglia (725 km.) al secondo; ma sul principio queste masse di gaz non avvolgevano completamente la nuova stella, come fu dimostrato dallo spettro continuo dovuto al corpo centrale o liquido o solido, insieme colle linee scure dovute all'assorbimento di parte della sua luce dalle masse di gaz. Questo spettro continuo disparve gradualmente, insieme colle linee dovute ai varii metalli dapprima osservati. Le linee dell'idrogeno rimasero sempre ugualmente distinte, accompagnate dalle linee dovute all'elio, e le linee del gaz *nebulium* gradatamente divennero visibili. Questa sostanza non è ancora stata scoperta sulla terra, ma essa è molto caratteristica delle nebulose, nelle quali essa s'incontra nello stato gazoso in congiunzione con idrogeno ed elio. Essa sembra essere più pesante che l'elio, il quale è egli stesso più pesante dell'idrogeno, ed essa sembra essere capace di esistere nello stato gazoso a temperature pressochè altrettanto basse quanto nei casi dell'idrogeno e dell'elio.

Il ragguaglio del moto dei gaz emessi osservati immediatamente dopo l'apparizione della stella indica una violenza esplosiva anche maggiore di quanto sia stato osservato a proposito delle protuberanze solari. Una caratteristica di straordinario interesse consisteva nella emissione dalla stella di due distinte correnti di particelle, una serie

Digitized by Google

viaggiando verso il di fuori dalla stella con circa due volte la velocità dell'altra serie. Queste correnti furono per la prima volta osservate telescopicamente circa un mese dopo l'apparizione della stella, e fu trovato possibile di seguire il loro progresso esterno per un anno all'incirca, a cagione della formazione di nuvole luminose ovunque esse attraversassero della materia nebulare. Alcune estese nebulose, la cui esistenza sin qui non era mai stata sospettata, furono scoperte in questo modo. Questo mi parve suggerir l'idea che le particelle fossero cariche elettricamente, come le particelle alfa e beta, e che la luminosità fosse dovuta alla loro azione ionizzante sovra masse gazose di materia nebulare. I ragguagli di moto erano tali che le distanze attraversate in 300 giorni sottenderebbero degli angoli di sette minuti e quattordici minuti di arco, rispettivamente, per un osservatore terrestre. La distanza della stella è stimata essere tale che la sua luce occuperebbe circa 120 anni nel suo viaggio sino alla terra, il che è equivalente ad una distanza di circa 720 bilioni di miglia (1160 bilioni di km.). Le velocità delle particelle sarebbero quindi di circa 11.600 miglia, o più di 23.000 miglia, al secondo (18.600 e 37.000 km.) rispettivamente, ovverosia all'incirca un sedicesimo ed un ottavo della velocità della luce. Questi valori, come sarà notato, sono approssimativamente venticinque volte e cinquanta volte, rispettivamente, i più alti valori osservati per le velocità di gaz emessi. Essi sono infatti di quell'ordine da essere previsto se la collisione fosse accompagnata da disintegrazione esplosiva di sostanze radio-attive immagazzinate entro le stelle collidenti, il che sembra di conferma all'ipotesi che io suggerii che renderebbe possibile per le particelle alfa e beta di sfuggire dal sole a velocità paragonabili a quelle osservate nelle condizioni terrestri.

Se il gruppo muoventesi più lentamente consistesse di particelle alfa, la velocità dell'altro gruppo sarebbe troppo bassa per noi per identificarle con particelle beta; ed è difficile immaginare qualche causa operante per ridurre la velocità delle ultime senza che nello stesso tempo riducesse la velocità della prima in una proporzione ancor maggiore.

Le circostanze differiscono così grandemente da qualsiasi circostanza che può essere osservata nelle condizioni terrestri che nessuna ipotesi suggerita può essere altro fuor che una congettura, ma sembra a me essere una non improbabile congettura che se le particelle alfa consistono, come i recenti risultati di Rutherford provano conclusivamente, di atomi di elio portanti cariche positive, allora questo secondo gruppo

Digitized by Google

può esser stato composto di atomi di idrogeno portanti le corrispondenti cariche negative. Dacchè la massa di un atomo di idrogeno è quasi esattamente metà di quella di un atomo di elio, questo darebbe il rapporto osservato tra le velocità di due ad uno.

Una ipotesi scambievole, la quale da considerazioni chimiche sembrerebbe avere una maggiore probabilità *a priori*, sarebbe che il gruppo più lento a muovere consistesse di atomi di idrogeno portanti, come gli atomi di elio, delle cariche positive. Potrebbe allora essere supposto che le corrispondenti cariche negative fossero sfuggite dalla stella in una nuvola dotata di moto ancor più rapido, consistente di elettroni, ossia di ordinarie particelle beta, non associate con materia.

Una tale nuvola darebbe origine certamente a molta minore jonizzazione nella materia delle nebulose in vicinanza della stella di quanto avverrebbe con particelle di maggiore massa associate colla materia ordinaria. Egli è tuttavia difficile immaginare che questa cagionerebbe così poca jonizzazione, da non essere stata affatto scoperta, e per questo motivo la prima delle due congetture sembra a me essere quella che incontra la maggior probabilità in suo favore.

In una tale collisione tra due stelle le sorti stanno enormemente contro all'essere il relativo loro moto al momento dell'urto nella direzione di una linea retta congiungente i loro centri, e la collisione che diede origine alla stella Nova di Perseo non era certamente un urto normale, ma uno obliquo. In ogni collisione che non siasi approssimata ad un urto normale, una parte considerevole di energia sarebbe impiegata nel dare un'alta velocità di rotazione alla stella nuova, e generalmente quella sarebbe così grande che i moti di rotazione delle stelle separate prima dell'urto non potrebbero esercitare influenza apprezzabile sul risultato finale.

Il calore prodotto da un tale urto non sarebbe sufficiente per spiegare la emissione di gaz alla velocità osservata immediatamente dopo l'urto nel caso della Nova di Perseo, senza un concomitante sprigionamento esplosivo di energia che io ho presunto aver luogo, dovuto alla venuta alla superficie ed alla risultante disintegrazione di sostanze radio-attive. È stato calcolato da A. Ritter che quando due stelle di uguale dimensione si urtano, dopo di essersi approssimate l'una all'altra da una distanza indefinitamente grande, il calore dovuto all'energia del cozzo sarebbe soltanto sufficiente per produrre una espansione del volume combinato, ad un po' di più che quattro volte il suo ammontare di

Digitized by Google

origine. Questo calcolo trovasi in una delle notevoli memorie della serie su « L'altezza dell'atmosfera e la costituzione di mondi gazosi » che fu pubblicata negli *Annalen* di Wiedemann, cominciando dall'anno 1878 e proseguendo per un certo numero di anni. Io supporrò quindi che una simile esplosione interna abbia luogo al momento dell'urto.

Arrhenius suppone che l'effetto di scorrimento delle parti, le une su le altre, prodotto dall'urto avrà per risultato l'uscita dei prodotti di esplosione che ha luogo principalmente in due correnti parallele, dirette oppositamente, ad angoli retti colla relativa direzione di moto delle due stelle al momento del cozzo.

Queste correnti di materia espulsa parteciperebbero della rotazione che nascerebbe dalla collisione. Esse si espanderebbero e quindi si raffredderebbero rapidamente man mano che s'allontanerebbero dalla stella. La quantità crescente di fina polvere risultante dalla materia proiettata esplosivamente, e dalle fini particelle cacciate via dalla stella dalla pressione di radiazione, oscurerebbe la stella nuova sino ad un limite continuamente crescente, e così gradatamente trasformerebbe la sua bianca lucentezza, dapprima in giallo e di poi in rossastro. Quando queste nuvole sono vicino alla stella esse sembrano avvolgerla completamente. Man mano che le esterne particelle si ritirassero a distanze maggiori, i loro posti sarebbero riempiti da materia ulteriormente proiettata, cosicchè l'oscuramento continuerebbe ad aumentare, e le porzioni esterne delle correnti, diventando sempre più largamente separate, produrrebbero un effetto visibile più grande quando le loro porzioni più dense fossero interposte tra le stelle e la terra, e così darebbero origine alle fluttuazioni osservate; e queste fluttuazioni sarebbero di periodo crescente, a cagione del loro decrescere nella velocità angolare delle particelle di polvere secondo che la loro distanza dalla stella è aumentata. La quantità crescente di materia espulsa, formando un'atmosfera carica di polvere attorno alla stella, spiegherebbe la continuata diminuzione in splendore. Il suo ritorno verso un colore biancastro può essere dovuto, molto probabilmente al fatto che le più fini particelle di polvere siano state cacciate via dalla pressione di radiazione a distanze considerevoli, dove esse avrebbero un effetto meno oscurante, per motivo della distribuzione loro sopra aree più ampie, e, senza dubbio, in parte anche alla graduale aggregazione della polvere in particelle maggiormente grossolane.

Il calcolo di Ritter, accennato poc'anzi, mira alla conclusione che

Digitized by Google

una larga proporzione della materia di una tale stella rimarrà concentrata vicino al centro, e questo è evidentemente d'accordo con i fenomeni che io ho descritto in correlazione colla nascita della stella Nova di Perseo, la graduale sparizione del corpo centrale essendo chiaramente dovuta all'aumentante oscuramento per causa delle masse sviluppantisi di gaz leggeri e di altre materie nebulose. La sparizione definitiva del corpo centrale in una nuvola nebulare completerà la sua rassomiglianza colle altre nebulose stellari, ed esso mostrerà allora soltanto la comparativamente debole luminosità comune a questi corpi e che è, secondo tutta probabilità, dovuta alla jonizzazione dei gaz leggeri, nebulio, elio e idrogeno, componenti i loro strati esteriori, mediante l'incursione di particelle cariche elettricamente espulse, sia dalla massa centrale, sia da altri corpi celesti.

La diminuzione graduale della ragione di rotazione delle correnti di gaz e piccole particelle che escono dal corpo centrale tenderà a farle attorcigliare in spirali circondanti quest'ultimo, e così noi giungeremo ad una spiegazione soddisfacente delle nebulose spirali. La rapida rotazione della massa centrale obbligherà questa ad assumere una forma simile ad un disco, più spesso nelle parti centrali e che diviene più sottile verso la circonferenza esterna. Una porzione considerevole della materia espulsa sfuggirà probabilmente per intiero dal sistema mentre il rimanente continuerà ad aggirarsi intorno a quello, venendo le spirali a trasformarsi gradualmente in anelli nebulari circondanti la massa centrale. Le nebulose anulari devono quindi essere considerate come stadi ultimi nello sviluppo di nebulose che avevano una volta una forma a spirale. Secondo che diminuisce la ragione di proiezione di materia dal corpo centrale, questo diventa nuovamente visibile, eccetto nei casi in cui gli anelli circostanti intervengono tra la stella e la terra.

Per tutto quel tempo che le masse gazose esterne continueranno la loro espansione esse diventeranno costantemente più fredde. La ragione di raffreddamento sarà accelerata dallo sfuggire delle particelle animate dal più rapido moto dagli esterni strati della nebulosa, poichè la temperatura di un gaz o di un altro corpo è semplicemente dovuta al rapido moto delle sue molecole, e scende come diminuisce la velocità media di questo moto. Allo stesso tempo le piccole particelle di pulviscolo, per la collisione dell'una coll'altra, si aggregheranno in quelle masse, le quali, quando sono attratte entro la zona d'influenza della ter-

Digitized by Google

e cadono sulla superficie di questa, sono conosciute col nome di meteoriti. Essi sono di una struttura oltremodo spugnosa e presentano tutte le apparenze di essere stati fabbricati mediante l'aggregazione di piccole particelle di polvere cosmica. Quando un meteorite entra nell'atmosfera della terra esso diventa incandescente per il calore generato dalla frizione coll'aria, cosicchè soltanto masse relativamente grandi possono giungere sino alla superficie della terra senza disintegrazione. Le più piccole particelle, di gran lunga più numerose, sono interamente disintegrate nel passare attraverso l'atmosfera. Questi meteoriti, quando sono formati nell'involucro nebulare della nuova stella, oltre all'attrarre in loro vicinanza le più piccole particelle di pulviscolo, agiranno quali centri di condensazione per i gaz, principalmente consistenti di idrogeno. Vieppiù crescendo in dimensione coteste aggregazioni, la gravitazione della massa centrale soverchierà la pressione di radiazione, la quale inoltre sarà andata costantemente scemando, a motivo del raffreddamento del corpo centrale per via di irradiamento. Sciami di meteoriti cadranno quindi verso il corpo centrale e tenderanno a compensare il calore perduto per irradiamento.

Alla fin fine, l'involucro esterno gazoso della nebulosa cesserà di espandersi e comincierà a contrarsi.

J. H. Lane ha mostrato nel 1870 che, man mano che procede la contrazione, accompagnata dal raffreddamento degli strati esterni, la temperatura comincierà ad elevarsi (1). La condensazione sarà ancor più aiutata dall'immigrazione di materia esterna. Ulteriori sciami di meteoriti saranno attratti nella nebulosa dall'esterno, e questi possono essere rinforzati da corpi celesti più grandi che passino entro la nebulosa. Questi agirebbero come centri di condensazione ancora più potenti, ed io posso osservare che molte interessanti fotografie di nebulose e di ammassi di stelle mostrano grandi « spaccature », com'esse sono denominate, dalle quali la materia nebulare appare essere stata fatta più rada dal passaggio delle stelle in quella guisa. Come la temperatura e la pressione aumentano, le linee del nebulio, e dell'elio, e qualcuna

(1) Il problema è stato recentemente trattato con grandi particolari da Lord Kelvin in una memoria dal titolo: « Il Problema d'una Nebulosa sferica gazosa ». *Phil. Mag.*, volumi XV e XVI. 1908.

Digitized by Google

dell'idrogeno tenderebbero a sparire dallo spettro della nebulosa, e ad essere rimpiazzate da un aumentante sviluppo di linee metalliche, indicanti l'approssimarsi dello stadio solare; ed è a questo grado che noi dovremmo aspettarci che la formazione di sostanze radio-attive abbia principio: poichè l'idrogeno e l'elio, attratti nel corpo centrale dagli sciami meteorici, entrerebbero in combinazione con altre sostanze sotto condizioni di enorme temperatura ed enorme pressione, accompagnate dall'assorbimento di un immenso ammontare di energia, corrispondente all'ammontare che sarebbe sprigionato dalla loro disintegrazione.

Continuando la contrazione la pressione non cesserebbe mai di aumentare, ma la temperatura raggiungerebbe un valore massimo, attraversato il quale, essa comincierebbe di nuovo a diminuire, e questa diminuzione continuerebbe finchè il ciclo ricomincierebbe da capo con un'altra collisione. La stella, in questo frattempo, passerebbe dapprima da uno stadio bianco ad uno giallo, allorquando essa fosse in una condizione simile allo stato attuale del sole. Di poi gradualmente si trasmuterebbe al rosso, e finalmente, perderebbe la sua luminosità e diverrebbe un sole spento, ammenochè naturalmente una seconda collisione avvenisse prima che essa fosse giunta a questo stadio. Noi possiamo supporre che una tale nebulosa sia stata l'origine del nostro proprio sistema solare.

Arrhenius suppone che lo spogliarsi di anelli dal corpo centrale potrebbe molto verosimilmente spiegare la formazione di qualcuno dei più piccoli pianeti tali come gli asteroidi, ma che la più probabile sorgente dei pianeti più grandi, sarebbe fornita dalle maggiori masse immigranti, accresciute coll'attrarre a loro quelle più piccole presso alle quali esse sono passate. Questa supposizione ovvierebbe certamente alla difficoltà, riferita al principio del capitolo, di spiegare la separazione di anelli di profondità sufficiente per bastare alla formazione dei più grossi pianeti.

Una supposizione tuttavia di gran lunga più probabile, a mio avviso, è quella di sir Giorgio Darwin, che la separazione da un pianeta di materiale per formare un satellite possa aver avuto luogo in taluni casi per lo spezzamento di una singola massa. Una serie di estremamente potenti ed elaborate indagini matematiche fatte da sir Giorgio Darwin e da H. Poincaré suggerisce il concetto che la prima instabilità prodotta da raffreddamento e ristringimento, con un costante momento di

Digitized by Google

quantità di moto, in un pianeta liquido rotante potrebbe forse dare origine ad una figura stabile con una sporgenza da un lato del centro di ciò che è stato il circolo equatoriale, ed uno schiacciamento sulla superficie dall'altro lato del centro d'inerzia. Questa sporgenza aumenterebbe per ulteriore raffreddamento e ristringimento fintantochè, definitivamente, l'equilibrio diverrebbe instabile, ed una porzione comparativamente piccola di liquido si distaccherebbe dalla massa principale.

Se l'intiero pianeta fosse liquido al tempo della separazione, non rimarrebbero delle cicatrici permanenti su ciascuno dei due corpi, ma se, come Lord Kelvin (1) suppone che possa essere capitato nel caso della separazione della luna dalla terra, essa aveva raggiunto lo stato di una conglomerazione di cristalli con una lava liquida che riempiva gli interstizi fra quelli, la plasticità sarebbe stata sufficiente da permettere i cambiamenti necessarii della forma anteriore alla separazione, mentre rispettava la permanenza delle cicatrici.

La cicatrice lasciata sulla semi-plastica terra dallo strappamento da essa della luna, ed i susseguenti cavalloni, potrebbero spiegare la persistente deviazione della figura della terra da quella di una esatta figura di rivoluzione, come pure la deviazione dall'equilibrio tra la gravità e la forza centrifuga presentata dalle elevazioni formanti i continenti, e le depressioni formanti gli oceani.

Sir Giorgio Darwin ha compiuto lo studio dei susseguenti stadii attraverso ai quali sono passate la terra e la luna, ed ha spiegato, in armonia con questa teoria, l'esistente eccentricità dell'orbita della luna. Egli ha pure mostrato che l'asse della terra non potrebbe rimanere perpendicolare al piano orbitale della terra e della luna, poichè tale sistema sarebbe instabile, ogni deviazione dall'esatta perpendicolarità essendo aumentata dalla resistenza viscosa della terra a cambiamenti di forma.

Delle masse molto grandi, o delle masse più piccole moventisi con delle velocità abbastanza alte, potrebbero passare attraverso le nebu-

---

(1) « Sulla formazione della materia solida da origini atomiche », in *Phil. Mag.*, vol. XV, 1908, p. 397. Questa memoria contiene una lista piena di referenze alle indagini di Darwin e Poincaré.

Digitized by Google

lose, e, dopo di aver subito puramente deviazione dal corpo centrale, potrebbero sfuggire affatto dalla sua influenza. Delle masse minori, oppure moventisi più lentamente, si aggirerebbero attorno a quello in orbite elittiche. La frizione tra una tale massa e la materia rotante nebulare ridurrebbe l'effetto della velocità iniziale della massa paragonata con quella dovuta all'attrazione del corpo centrale. Questo costringerebbe l'orbita elittica ad avvicinarsi alla forma circolare, ed il largo spazio occupato dal corpo centrale, che attira, aiuterebbe nell'accelerare questo cambiamento. Il piano dell'orbita sarebbe nel tempo istesso deviato verso il piano equatoriale del corpo centrale. Qualunque fosse la rotazione assiale che il corpo planetario potesse inizialmente possedere, il suo asse tenderebbe a divenire perpendicolare al piano della sua orbita, e quindi perpendicolare al piano equatoriale del corpo centrale, con la sua rotazione assiale nella stessa direzione di quella della sua rivoluzione. Se questi effetti fossero più potenti, noi potremmo riprometterci di trovare la minima distanza tra la massa planetaria ed il corpo centrale, e grandi deviazioni nel caso di masse più distanti. Queste masse planetarie diverrebbero nello stesso modo circondate da satelliti formati da corpi minori vicino ai quali esse sono passate, ma che erano non abbastanza piccoli, o non moventisi abbastanza lentamente per essere attratti in quelle masse. Simili considerazioni si applicherebbero alle orbite di questi satelliti. Le masse planetarie ed i satelliti loro sarebbero da principio circondate da grandi globi, più o meno schiacciati per la rotazione loro, di materia nebulare. I satelliti, essendo i più piccoli, sarebbero i primi a raffreddarsi, di poi i più piccoli pianeti; il corpo centrale, in virtù della sua dimensione di gran lunga maggiore, continuando ad esistere come un sole luminoso per lunghe età dopo che i suoi pianeti e satelliti si sono raffreddati sino a temperature relativamente basse.

Dacchè la nebulosa si fosse contratta dalla sua massima estensione ad uno stato rassomigliante alle condizioni presenti del sistema solare, l'immigrazione di corpi esterni diverrebbe minore e meno frequente, e le condizioni diverrebbero continuamente meno favorevoli al suo aumento in volume. Si potrebbe ritenere che tali corpi, poichè hanno trovato modo di entrare, siano relativamente piccoli, e che si muovano attorno al corpo centrale entro orbite di elongazioni varianti in piani che non hanno speciale relazione col piano equatoriale del corpo centrale, o piano dell'eclittica, com'esso è denominato nel nostro sistema solare.

Digitized by Google

Poichè, dopo la concentrazione della materia nebulosa nei pianeti e satelliti, non vi sarebbe azione di attrito sensibile tendente a trasformare le elissi allungate in orbite circolari, e ad avvicinare i loro piani al piano dell'eclittica. Si vedrà che il sistema a cui noi siamo giunti rassomiglia al nostro presente sistema solare praticamente in ciascun particolare, gli ultimissimi immigranti formando le comete e gli sciami meteorici.

Digitized by Google

CAPO XIV.

Disposizione e numero di elettroni in un atomo.

Vi sono varii modi con cui si può supporre che un atomo sia costrutto di coppie elettriche in moto orbitale l'una attorno all'altra, il che è la natura, indicata dalla teoria degli elettroni, della costituzione di un atomo. Una di queste ipotesi è stata sufficientemente elaborata perchè le sue conseguenze abbiano da essere paragonate ad esperimento, e si è dimostrata atta a spiegare parecchie delle principali proprietà conosciute delle molecole materiali. Sarà quindi interessante considerarla in alcuni particolari, sebbene essa non debba essere riguardata come una teoria ben stabilita di costituzione molecolare, ma solamente come un tentativo di sviluppo di una simile teoria.

Il tipo dell'atomo in quistione fu dapprima immaginato da Lord Kelvin, e da lui discusso, nel 1901, in una memoria intitolata: « Æpinus Ætomized » (Æpinus atomizzato).

Supponiamo, per esempio, che un atomo sia formato di tre simili coppie, ed in maniera tale che l'elettrizzazione positiva sia uniformemente distribuita sopra una sfera, mentre i tre elettroni negativi complementari siano inclusi entro la sfera. Può essere dimostrato che un tale atomo sarebbe stabile, con i tre elettroni interni in riposo e formanti gli apici di un triangolo equilatero avente il suo centro al centro della sfera. La distanza di ciascun elettrone dal centro avrebbe da essere poco più di metà del raggio (la distanza esatta essendo 0.57 volte il raggio). Se gli elettroni andassero descrivendo delle orbite circolari attorno al centro della sfera, la loro distanza dal centro aumenterebbe colla velocità di rotazione. Quando questa velocità di rotazione fosse divenuta sufficientemente grande, gli elettroni comincie-

Digitized by Google

rebbero a girare all'esterno della sfera, ed alla fine la lascierebbero intieramente, nel qual caso l'atomo si desintegrerebbe.

Sir J. J. Thomson ha ricercate le condizioni di stabilità di sistemi costrutti in questa maniera in una sua memoria abile in massimo grado ed interessante, sulla struttura dell'atomo (*Phil. Mag.*, 1904). Per amore di semplicità nell'indagine, gli elettroni negativi entro la sfera furono supposti essere confinati in un solo piano passante pel centro della sfera; e furono raggiunti così alcuni interessantissimi risultati. Egli trovò che due elettroni sarebbero disposti ad uguali distanze da opposti lati dal centro, tre formerebbero un triangolo equilatero come

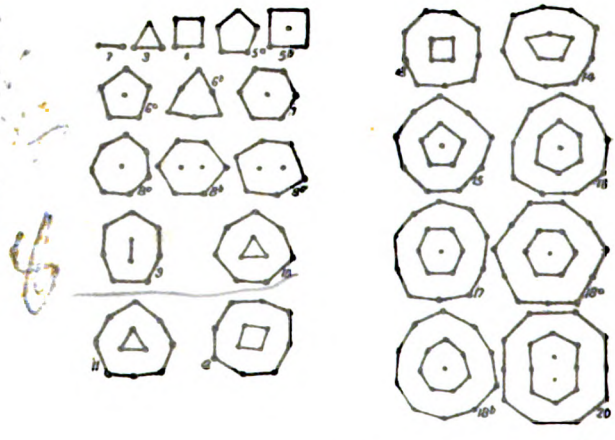


Fig. 6.

prima già si era determinato, quattro sarebbero collocati agli angoli di un quadrato e cinque agli angoli di un pentagono, oppure alternativamente, quattro di essi agli angoli di un quadrato ed uno di essi al centro.

Con sei, sette ed otto elettroni la stabilità sarebbe pure possibile, con un elettrone collocato al centro e gli altri disposti simmetricamente attorno a quello. Con diciannove, vi sarebbe un anello esterno di dodici, un anello interno di sei ed un elettrone nel centro, e generalmente il numero dei sistemi, uno dentro all'altro, andrebbe aumentando col crescere del numero degli elettroni.

Alcuni bellissimi esperimenti sono stati compiuti dal prof. Mayer, i quali forniscono illustrazioni meccaniche di modelli di atomi di questo

Digitized by Google

genere, con elettroni stazionari. Gli esperimenti furono compiuti con un certo numero di piccoli magneti formati da aghi d'acciaio ugualmente magnetizzati, messi a galleggiare sull'acqua coll'inserirli in piccoli dischi di sughero, tutti i poli nord oppure tutti i poli sud essendo sotto alla superficie nello stesso tempo. La forza d'attrazione era provveduta da un polo magnetico più forte, di segno opposto a quello dei poli rivolti all'insù dei piccoli magneti e collocato a qualche distanza al di sopra della superficie dell'acqua (1).

---

(1) Sir J. J. Thomson svolge ampiamente quest'argomento nel libro: « The Corpuscolar Theory of Matter » (Londra, 1907).

« Noi possiamo ricercare l'equilibrio di corpuscoli in un piano mediante l'esperimento, non meno che coll'analisi, adoperando, ad es., un metodo proposto per varî scopi dal fisico americano prof. Mayer.

« Il problema dell'assestamento dei corpuscoli si è quello di trovare in qual modo un certo numero di corpi, che si respingono l'un l'altro con forze inversamente proporzionali ai quadrati delle distanze fra di loro interposte, si disporranno sotto l'azione di una forza attrattiva, che tende a trascinarli ad un punto fisso.

« Per questo sperimento i corpuscoli sono sostituiti da aghi calamitati infilzati in dischi di sughero, e per tal modo galleggianti in posizione verticale sull'acqua. Si deve aver cura che gli aghi siano calamitati (o magnetizzati) ben uniformemente. Se questi aghi saranno disposti in modo che i loro poli di ugual segno siano rivolti da una stessa parte, si respingeranno tra di loro come i corpuscoli.

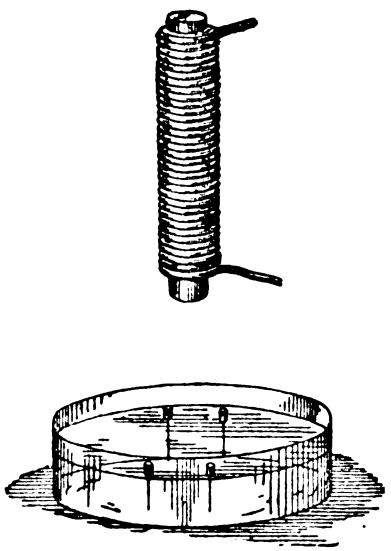


Fig. 7.

« La forza di attrazione vien prodotta da un gran magnete collocato sopra la superficie dell'acqua, con il suo polo inferiore di segno contrario a quello rivolto all'insù degli aghi calamitati galleggianti. La componente lungo la superficie dell'acqua della forza dovuta a quel magnete è diretta al punto della superficie dell'acqua che sta verticalmente sotto il polo del magnete, ed è approssimativamente proporzionale alla distanza da questo punto. Le forze che agiscono sugli aghi calamitati sono per tale disposizione analoghe a quelle che agiscono sui corpuscoli.

Digitized by Google

Le disposizioni ottenute con numeri di magneti varianti da due a venti sono dimostrate nella figura 6.

Se gli elettroni non sono costretti a rimanersene in un piano, molte di queste disposizioni saranno instabili, a meno che gli anelli di elettroni siano in rotazione nel loro proprio piano con una velocità angolare minima **d'una certa entità**; per esempio, quattro elettroni in riposo non saranno in un equilibrio stabile ai quattro angoli di un quadrato se vi è qualche possibilità di movimento fuori del piano, ma essi si disporranno ai quattro vertici di un tetraedro, avente il suo centro al centro della sfera. Tuttavia, se l'anello di quattro elettroni situati ai quattro angoli di un quadrato è fatto girare nel suo piano con una certa velocità angolare minima, la disposizione diverrà stabile. La disposizione di cinque elettroni agli angoli di un pentagono sarà pur essa instabile quando è in riposo, ma sarà stabile quando sarà in rotazione a sufficiente velocità.

Thomson perviene alla conclusione che se gli elettroni sono liberi di muoversi in tutte le direzioni, essi si assesteranno in una serie di gusci concentrici. Le difficoltà matematiche diverranno allora molto più grandi, ed egli non è riuscito a tal segno da ottenere una soluzione generale per una distribuzione in guscio, ma si può agevolmente scor-

---

« Se noi introduciamo nell'acqua un ago dopo l'altro, noi troveremo che essi si disporranno in certi modelli definiti; tre aghi ai vertici di un triangolo; 4 agli angoli d'un quadrato; 5 a quelli d'un pentagono; ma se noi aggiungiamo un sesto ago, tutti e sei non si disporranno agli angoli d'un esagono, bensì di essi 5 si collocheranno agli angoli d'un pentagono, ed il sesto al centro di quello. Quando noi introducessimo un settimo ago noi otterremmo un anello di sei con uno al centro; per tal modo si vede che un anello di sei è instabile quando è vuoto, e diventa stabile non sì tosto che un altro ago vien messo all'interno di quello. Questo è un esempio del principio fondamentale della sistemazione stabile dei corpuscoli; la struttura deve essere tale che si possa sostenere; non è possibile avere un grande sfoggio di corpuscoli all'esterno e nulla all'interno. Coll'aiuto di questi aghi calamitati galleggianti noi possiamo illustrare le disposizioni di numeri considerevoli di corpuscoli, e verificare così le tabelle ottenute mediante il calcolo ».

Altri metodi consimili furono esperimentati dal prof. W. Wood per mezzo aghi di ferro galleggianti sul mercurio, e magnetizzate per induzione da un gran magnete situato al di sopra d'esse; dal Dr. Monckman mediante conduttori oblunghi fluttuanti verticalmente nell'acqua, ed elettrizzati per induzione. I risultati ottenuti non sono differenti da quelli del metodo esposto. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

gere che lo stesso genere di proprietà sarà associato coi gusci come cogli anelli, cosicchè egli si limita ad investigare il problema più semplice, ed alcuni dei risultati ottenuti sono dati dalla tabella I che è presa dalla memoria di Thomson. Sebbene questa tabella contenga solamente una serie piccolissima, essa è sufficiente per indicare la ricorrenza di certi gruppi ad intervalli periodici.

TABELLA I.

N. di elettroni	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
Num. in anelli successivi	20	19	18	17	16	16	15	13	12	10	8	5
	16	16	15	14	13	12	10	9	7	5	2	
	13	12	11	10	8	6	5	3	1			
	8	7	5	4	3	1						
	3	1	1									

Per esempio noi troviamo che un singolo elettrone al centro si ritrova nel caso di un gruppo di 20 elettroni, nuovamente con 35, 50 e 55; mentre un anello centrale di tre elettroni trovasi in atomi consistenti rispettivamente di 25, 40 e 60 elettroni. Quindi, ove una serie di proprietà fosse annessa agli atomi aventi un singolo elettrone al centro, ed un'altra serie cogli atomi aventi anelli centrali di tre elettroni, noi ci aspetteremmo di trovare queste sorta di proprietà periodicamente ripetute con una serie di atomi di differenti elementi, disposti nell'ordine del numero degli elettroni contenuti in ciascheduno. Ora, la massa di un atomo può essere ritenuta come misurata dal numero delle coppie elettriche che esso contiene, e quindi, dacchè gli elettroni si trovano in paia, dal numero degli elettroni di una sorta sola. Una serie di questi atomi ipotetici, dispost nell'ordine ascendente degli elettroni contenuti in essi, può quindi essere considerata come corrispondente ad una serie di elementi chimici disposti in ordine ascendente secondo i loro pesi atomici, o più propriamente, secondo le loro masse atomiche.

Ora, secondo quella legge nota sotto il nome di *Legge di periodicità*, scoperta da Mendeleeff, e, indipendentemente da lui, da Newlands, se tutti gli elementi chimici conosciuti sono disposti nell'ordine ascendente delle masse atomiche rispettive, essi possono essere divisi in una serie di gruppi, che hanno rapporti tra di loro in tal modo da sembrare di indicare una ricorrenza periodica di certe simiglianze nella struttura degli atomi che li compongono.

Digitized by Google

Per illustrare questo punto ulteriormente noi considereremo la tabella II, che è tolta pure dalla memoria di Thomson, surriferita, e che dà la serie intiera di atomi che contengono un anello esterno di 20 elettroni.

TABELLA II.

Numero di elettroni	59	60	61	62	63	64	65	66	67
Numero in anelli successivi	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	16	16	16	17	17	17	17	17	17
	13	13	13	13	13	13	14	14	15
	8	8	9	9	10	10	10	10	10
	2	3	3	3	3	4	4	5	5

Un tale anello esterno si trova per la prima volta con un atomo che contiene 59 elettroni, nel qual caso il numero interno è appena sufficiente per rendere stabile l'anello esterno. Una piccola perturbazione dall'esterno sarà quindi sufficiente per staccare un elettrone negativo da un simile atomo, il quale per tal modo acquisterà una carica positiva. Esso non sarebbe tuttavia in grado di ritenere una tal carica; perchè quando esso avesse perduto un elettrone, i 58 rimanenti si assesterebbero con un anello esterno di 19, il quale modello sarebbe l'ultimo della serie contenente 19 elettroni nell'anello esterno; vale a dire, esso conterrebbe il massimo numero di elettroni all'interno, e sarebbe quindi estremamente stabile, cosicchè se qualche altro elettrone sfuggisse ulteriormente da quello, tosto la carica positiva dell'atomo dovuta alla sfuggita del cinquantesimo nono elettrone attrarrebbe immediatamente all'interno un elettrone libero, dall'esterno, per rimpiazzare quello perduto. Un tale atomo non sarebbe nè elettro-positivo, nè elettro-negativo, ma non sarebbe in grado di ricevere qualche carica elettrica permanentemente.

L'atomo contenente sessanta elettroni potrebbe perdere solamente un elettrone, e quindi acquistare un'unità elettronica di elettricità positiva, poichè la perdita di due elettroni lo ridurrebbe al sistema contenente cinquantotto elettroni, il quale attrarrebbe ancora più fortemente gli elettroni esterni che nell'ultimo caso considerato, a cagione del suo acquistare una carica doppia. Questo sistema agirebbe quindi come l'atomo di un elemento elettro-positivo monovalente.

L'atomo contenente 61 elettroni, essendo più stabile di quello con soli 60, abbandonerebbe meno facilmente i suoi elettroni, ma sarebbe

Digitized by Google

in grado di perderne due prima di cominciare ad acquistarne di quelli nuovi e quindi si comporterebbe come l'atomo di un elemento elettro-positivo bivalente. L'atomo con 62 elettroni abbandonerebbe i suoi elettroni ancor meno prontamente, ma sarebbe in grado di disfarsene di tre, e si comporterebbe come l'atomo di un elemento elettro-positivo trivalente.

L'atomo contenente 67 elettroni avrebbe un anello esterno molto stabile, ma l'addizione di un singolo elettrone a questo condurrebbe ad un riassestamento con un anello esterno di ventun elettroni, il quale avrebbe pochissima stabilità, e per conseguenza perderebbe di nuovo quell'elettrone, cosicchè in questo caso, come nel sistema di 59 elettroni, l'atomo non sarebbe in grado di ricevere una carica permanente, e si comporterebbe come l'atomo di un elemento che non abbia valenza alcuna.

L'atomo contenente 66 elettroni sarebbe il più elettro-negativo della serie, ma sarebbe solamente in grado di ritenere una carica di un'unità elettronica di elettricità negativa, perchè l'acquisto di due unità lo trasformerebbe in un sistema di sessantotto elettroni. Quest'atomo agirebbe quindi come quello di un elemento elettro-negativo monovalente.

Similmente gli atomi contenenti sessantacinque e sessantaquattro elettroni si comporterebbero rispettivamente come atomi bivalenti e trivalenti. Thomson osserva che una simile sequela di proprietà è molto rassomigliante a quella data dagli elementi seguenti, disposti in due colonne, nelle quali gli elementi sono assestati in ordine ascendente delle masse atomiche, l'elemento della più bassa massa atomica essendo alla testa della colonna, e quello della più alta massa atomica essendo ai piedi della stessa.

Senza valenza	Elio	Neon
Monovalenti elettro-positivi	Litio	Sodio
Bivalenti elettro-positivi	Glucinio	Magnesio
Trivalenti elettro-positivi	Boro	Alluminio
Tetravalenti (elettro-positivi oppure elettro-negativi)	Carbonio	Silicio
Trivalenti elettro-negativi	Azoto	Fosforo
Bivalenti elettro-negativi	Ossigeno	Solfo
Monovalenti elettro-negativi	Fluoro	Cloro
Senza valenza	Neon	Argon

Digitized by Google

Gli elementi centrali in queste due serie, cioè il carbonio ed il silicio, appaiono essere quasi indifferentemente elettro-positivi oppure elettro-negativi, e questo è appunto ciò che potrebbe essere atteso, secondo la teoria della struttura da noi considerata.

Se un numero di atomi elettro-negativi, nei quali gli elettroni sono ritenuti con molta fermezza, sono frammisti con quelli elettro-positivi, nei quali gli elettroni sono assai meno saldamente trattenuti, è da prevedersi che le azioni reciproche degli atomi possano con tutta probabilità risultare nel trasferimento di elettroni dagli atomi elettro-positivi a quelli elettro-negativi. I primi diverrebbero allora carichi positivamente e gli ultimi negativamente, quando avesse luogo l'attrazione tra atomi carichi con segni contrari, col probabile risultato che sarebbe formato un composto.

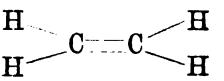
Supponiamo, per esempio, che degli atomi dell'elemento bivalente elettro-negativo, ossigeno, siano misti con atomi dell'elemento monovalente elettro-positivo, idrogeno, allora se ciascun atomo di idrogeno perde un elettrone e se ciascun atomo di ossigeno ne guadagna due, il composto, l'acqua H^2O, sarà formato. Questo è il corpo composto che è abitualmente formato quando questi elementi sono misti sotto favorevoli circostanze. In condizioni speciali si forma un altro composto, HO (idrossile), e questo si può spiegare solamente col presumere che le circostanze siano tali che la massima parte degli atomi d'ossigeno ricevano solamente un elettrone addizionale, cosicchè l'ossigeno si comporti allora come un elemento monovalente.

Questa variabilità nella valenza degli elementi chimici in condizioni varianti può essere ulteriormente illustrata dall'esempio del gaz ossigeno, che è ordinariamente diatomico, cioè ogni molecola del quale contiene due atomi. Uno di questi atomi deve quindi essere elettro-positivo e l'altro elettro-negativo, ed è agevole, col paragonare la posizione dell'ossigeno nella serie data dianzi col suo atomo corrispondente nella Tabella II, di vedere che esso potrebbe, o perdere un elettrone e diventare così carico positivamente, oppure guadagnare un elettrone, ed in conseguenza di ciò acquistare una carica negativa. Nell'ozono, che consiste di molecole di ossigeno contenenti almeno tre atomi per ciascuna molecola, noi abbiamo un altro esempio di tale variabilità. Dalla nostra teoria noi ci aspetteremmo che degli atomi di più alta valenza fossero in grado di comportarsi pure come atomi di valenza più bassa, perchè se un atomo è capace di perdere o di guadagnare due

Digitized by Google

o più elettroni, noi possiamo aspettarci naturalmente che esso sia in grado di perderne oppure di acquistarne soltanto uno.

Da questo punto di vista i *tratti d'unione di valenza* delle formole chimiche grafiche rappresentano dei tubi di Faraday che si estendono dalle molecole elettro-positive a quelle elettro-negative. Consideriamo, per esempio, l'idrocarburo conosciuto come etilene o gaz oleificante, C^2H^4, che delle considerazioni dimostrano potersi rappresentare mediante la formola grafica:



Dacchè ciascun tratto d'unione, nella precedente vignetta, rappresenta il trasferimento di un elettrone da una molecola ad un'altra, questo darebbe origine a due composti isomeri geometricamente possibili. Vale a dire, ne nascerebbero due composti esattamente consimili riguardo alle molecole che li compongono, ma differenti per qualcheduna delle loro proprietà fisiche. In uno di questi i due tubi di Faraday che connettono le molecole di carbonio sarebbero diretti similarmente, e nell'altro oppositamente. Tali isomeri possibili geometricamente saranno in grado di esistere fisicamente soltanto a condizione che entrambe le forme siano dinamicamente stabili. Tra queste condizioni esterne che possono determinare il passaggio di un elettrone da un atomo ad un altro, è probabile che le dimensioni relative degli atomi giochino una parte importante, poichè può essere dimostrato che, se due atomi di dimensioni differenti sono in contatto, vi sarà una tendenza per gli atomi più piccoli di attrarre elettroni fuori da quelli maggiori.

Che possano esistere azioni reciproche fra atomi che non sono divenuti elettrizzati mediante acquisto o perdita di uno o di più elettroni, questo può essere illustrato dal considerare il caso semplificato idealmente di un atomo, che è presunto consistere di un singolo elettrone negativo al centro di una sfera di elettrizzazione positiva uniforme. Non vi saranno forze elettriche tra due sfere consimili fintantochè non vi sia una compenetrazione di una di esse dall'altra, perchè, ad ogni punto all'esterno di ciascun atomo, l'effetto dell'elettrizzazione positiva uniformemente distribuita sulla sua superficie sferica controbilancierà esattamente l'effetto della carica uguale negativa al centro.

Tuttavia, se due atomi si avviluppano l'uno coll'altro, l'attrazione

Digitized by Google

dell'elettrone negativo centrale nel primo sulla porzione avviluppante della distribuzione della superficie positiva del secondo sarà maggiore che la ripulsione dovuta alla distribuzione positiva del primo. Gli elettroni rimarranno ai centri delle loro rispettive sfere finchè il centro di ciascuna sfera non viene dentro l'altra, allorchè gli elettroni saranno spostati dalle loro posizioni centrali e spinti da una parte, in modo da rimanere fuori della linea che congiunge i due centri. Se le due sfere, invece di essere delle stesse dimensioni, differiscono considerevolmente, Lord Kelvin ha dimostrato che gli elettroni centrali da quella più grande rimarranno entro la minore quando esse vengono separate, cosicchè l'una sarà caricata positivamente, e l'altra negativamente. Se esse fossero di una stessa dimensione, tuttavia esse dopo la separazione rimarrebbero come prima, ciascun atomo essendo neutrale.

Queste considerazioni mostrano la possibilità di un collegamento elettrico di atomi non elettrizzati, e conseguentemente pure di molecole non elettrizzate, e se la coesione di corpi solidi non fosse di già spiegata dall'azione delle forze di gravitazione, conosciute come esistenti, la sua spiegazione potrebbe essere ricercata in un'azione elettrica di questa natura.

Se gli atomi fossero circondati da un buon mezzo conduttore, gli elettroni, che sono stati espulsi da un atomo, sfuggirebbero più prontamente dalla sua vicinanza, senza essere attratti all'indietro di nuovo dall'attrazione della elettrizzazione positiva di quello. Ove numerosi atomi andassero attorno muovendosi ad alte velocità, essi non entrerebbero in combinazione così prontamente quanto lo farebbero se andassero muovendosi più lentamente, oppure se fossero in riposo, perchè nelle circostanze dianzi dette un atomo potrebbe frequentemente venire entro la sfera di attrazione di un altro in una condizione da entrare in combinazione con esso, e quindi essere portato di nuovo fuori prima che la combinazione avesse avuto luogo, se i due andassero muovendosi rapidamente in direzioni differenti. Questo spiegherà perchè avviene che l'innalzare la temperatura di una soluzione o di un gaz frequentemente cagiona una scomposizione chimica, mentre frequentemente ha luogo una ricombinazione se il gaz o la soluzione sono di nuovo raffreddati. Noi non ci aspetteremmo tuttavia che gli atomi dei due gaz formassero necessariamente delle combinazioni più complesse quando sono raffreddati ad una temperatura sufficientemente bassa, dacchè noi apprendiamo dalla teoria cinetica dei gaz che l'abbassa-

Digitized by Google

mento di temperatura di un gaz non ha grande influenza sull'energia interna degli atomi.

Sir J. J. Thomson dà il nome di temperatura corpuscolare a questa energia interna, dacchè egli denomina corpuscoli le particelle che sono note usualmente come elettroni. Seguendo il di lui suggerimento, noi potremmo quindi dire che l'abbassamento della temperatura molecolare di un gaz non ha necessariamente influenza sulla temperatura elettronica, ed, a meno che questa sia sufficientemente bassa, in rapporto con altre circostanze, nessuna combinazione può aver luogo tra due atomi, perchè una simile coalescenza involve necessariamente una trasformazione di energia potenziale in energia cinetica, vale a dire, aumenta l'energia totale di moto degli elettroni, e se questa energia fosse troppo grande, non sarebbe formato un sistema stabile.

Dappoichè le temperature molecolare ed elettronica dei gaz sono praticamente indipendenti l'una dall'altra, ne segue che l'energia perduta quando il moto di un elettrone è arrestato dal suo entrare in un atomo non è perduta direttamente per la collisione, ma bensì per la radiazione risultante.

Sir J. J. Thomson ha calcolata la perdita di energia dovuta a radiazione per varî sistemi di elettroni roteanti, ed ha dimostrato che questa perdita diminuisce rapidissimamente come aumenta nel sistema il numero di elettroni; per esempio, egli trova che la radiazione da ciascun elettrone di un gruppo di sei, moventisi in un circolo con un decimo della velocità della luce è minore di una cinquemilionesima parte della radiazione da un singolo elettrone moventesi colla stessa velocità nello stesso circolo.

A velocità minori la diminuzione è di moltissimo più grande, per esempio la radiazione da ciascuno dei sei elettroni sarebbe soltanto una cinquantamila-bilionesima parte di quella di un solo elettrone, se la velocità per gli uni come per l'altro fosse un centesimo di quella della luce.

L'ammontare di energia nella formazione di un atomo complesso, oppure in qualche riassestamento degli elettroni entro a quello, è estremamente grande; per esempio, l'energia contenuta in un solo gramma di idrogeno, nella presunzione che ciascun atomo consista di 1000 elettroni, sarebbe sufficiente per innalzare un peso di più che trecento milioni di tonnellate ad un'altezza di un piede (30 cm.) oppure di produrre la forza di 150 cavalli per più di un'ora.

Quest'energia è proporzionale al numero di elettroni in ciascun atomo cosicchè l'ammontare immagazzinato in un atomo di qualche altro

Digitized by Google

materiale sarà maggiore di questa nella stessa ragione con cui la sua massa atomica è maggiore di quella dell'idrogeno.

Quando noi consideriamo che, mentre gli atomi vanno continuamente perdendo energia per radiazione, essi vanno nello stesso tempo ricevendo energia per radiazione da altri atomi, noi possiamo vedere come sia possibile per un tale atomo di continuare ad esistere, praticamente non variato, per milioni di anni, come realmente deve essere stato.

L'estensione, colla quale la precedente rappresentazione della struttura interna degli atomi spiega le proprietà conosciute, fisiche e chimiche, delle molecole della materia, sembra indicare fortemente che essa formi realmente un passo, ed anzi un passo importante, nella direzione di una teoria congrua della struttura atomica. La caratteristica la meno soddisfacente della rappresentazione è l'indeterminatezza della concezione degli elettroni positivi formanti una distribuzione elettrica uniforme sopra una sfera enormemente più grande che il volume aggregato degli elettroni negativi, rappresentante praticamente la sfera limite (ossia di protezione) dell'atomo.

Non è in verità facile di vedere, come tale concezione potrebbe essere messa d'accordo colla struttura definita che Larmor assegna ad una coppia elettrica, la quale ha provato essere sufficiente per una così ampia serie di fenomeni fisici. Ed è infatti, non veramente un concetto del tutto fisico, ma puramente un concetto matematico provvisorio che rende possibile il compiere gradatamente i primi passi, per approssimazioni successive, procedendo per mezzo del metodo di tentativi e di errori, e rimpiazzando il concetto indeterminato provvisorio con una rappresentazione fisica definita. Ciò fornisce, in verità, una illustrazione ottima del modo col quale sono usualmente edificate le teorie fisiche. Dapprima formasi un modello non finito, forse, come in questo caso, con qualcuna delle parti solo vagamente delineate. La teoria di questo modello abbozzato viene poi sviluppata tant'oltre, quanto lo consentano i poteri dell'analisi matematica, ed i risultati vengono paragonati coll'osservazione. In questo modo le parti parzialmente foggiate possono essere gradatamente lavorate in una forma conveniente, mentre delle porzioni che non possono essere modificate al punto da concordare con i fatti osservati, devono essere sostituite da altre, ed il processo ha da essere ripreso da capo.

La prima supposizione fatta circa la massa dell'atomo d'idrogeno si era che essa fosse praticamente determinata dalla somma delle masse

Digitized by Google

degli elettroni negativi, presumendosi che le contribuzioni di masse degli elettroni positivi fossero trascurabili.

Ora la massa di un atomo di idrogeno si trova essere all'incirca 1700 volte quella d'un elettrone, quale ci è rappresentato da un raggio catodico, o particella beta, e quindi ne conseguirebbe che un atomo d'idrogeno dovrebbe contenere circa 1700 elettroni. Questa conclusione appariva a suo tempo non incontrare opposizione, ed alla sua veracità generalmente si prestò fede finchè ulteriori indagini di Thomson, che furono pubblicate nel *Philosophical Magazine* per il giugno 1906, posero in evidenza dei fondati motivi per credere che quella non fosse sostenibile. In questa memoria è dimostrato che tre linee di investigazione, affatto distinte tra di loro, conducono alla conclusione straordinaria che l'atomo d'idrogeno contiene solamente un elettrone *attivo*, e che gli atomi di tutti gli altri elementi contengono un numero di elettroni *attivi* paragonabile colle loro masse atomiche calcolate sulla base della massa atomica dell'idrogeno come unità. Commentando questo nel di lui libro sugli elettroni (1), Sir Oliver Lodge osserva:

« Questo è un risultato straordinario ed inatteso, ed a prima vista appare molto inverosimile, dacchè la presunzione chimica ordinaria di un peso atomico di un'unità per l'idrogeno è sempre stata nota per essere una semplice convenzione, fatta solo per convenienza, e verosimilmente non per corrispondere a qualche cosa nella natura. Io non posso supporre che qualcuno immaginasse che ciò sarebbe stato trovato, persino provvisoriamente, ad avere una base fisica e razionale ».

Noi rinviamo il lettore per coteste argomentazioni al Capo VII del libro recente di Sir J. J. Thomson sulla *The Corpuscolar Theory of Matter*, in cui la quistione è considerata nei suoi particolari.

I risultati di quelle ricerche e di quei calcoli sono assai interessanti, ma sono pure di interpretazione estremamente difficile, poichè essi sembrano provare che il concetto di una distribuzione uniforme di elettricità positiva sopra la superficie dell'atomo è imperfetto, persino come un concetto matematico, sebbene esso abbia servito per muovere i primi passi verso una teoria di struttura atomica.

(1) *Electrons*, p. 151.

Digitized by Google

CAPO XV.

Modificazioni nell'aspetto dei principii fondamentali di meccanica.

A questo capitolo premettiamo alcune nozioni, dedicate specialmente a quei lettori che non abbiano familiarità con tali concetti.

Nel 1824 Sadì Carnot stabilì il principio, che porta il di lui nome, e formò la base della termodinamica; sebbene dapprima esposto in altri termini esso può essere formolato elementarmente così.

La quantità di lavoro che si può ottenere da macchine termiche perfette, o ideali, per mezzo di una data quantità di calore, e tra due temperature date, è indipendente dalla natura o dal sistema della macchina. Essa dipende dalle temperature, ma è pure direttamente proporzionale alla quantità di calore impiegata. Se la trasformazione (od il lavoro) fosse compiuto in modo perfetto, ideale, essa potrebbe dar luogo ad altra in senso inverso, pure perfetta; epperciò sarebbe ciò che dicesi un *ciclo riversibile*.

Carnot supponeva dapprima che il calore impiegato non avesse a diminuire di quantità dopo compiuto il lavoro: tuttavia qualche suo scritto provò che egli dubitava dell'esattezza di questa sua ipotesi, la qual esattezza però, per lo stato delle cognizioni circa il calore ai suoi giorni, egli non poteva verificare. Ed infatti quell'ipotesi non corrisponde alla realtà.

Carnot morì giovane, ed il di lui principio passò a quell'epoca quasi inosservato, finchè altri non lo ripresero in esame, e tra di essi specialmente William Thomson (lo stesso che divenne poi Lord Kelvin) e Robert Clausius.

Il Thomson riconobbe che non tutto il lavoro ottenuto è lavoro utile, quindi non vi esiste mai una perfetta riversibilità nel *ciclo* e vi è per-

Digitized by Google

tanto uno spreco di energia, o, come egli la denominò, vi è *dissipazione di energia*.

Clausius, nel compiere degli studi analitici sul principio di Carnot, trovò una funzione che poteva essere posta sotto forma di quoziente della quantità di calore impiegata, divisa per la temperatura assoluta alla quale compiesi il lavoro. Tale funzione rappresenta precisamente la quantità di energia, che in ogni trasformazione non è più ricuperabile, e quindi rimane inutilizzata.

Clausius a tale quantità diede il nome di *entropia* (in greco: trasformazione).

Se la serie di operazioni forma un *ciclo riversibile*, allora tale funzione si può scrivere:

$$\int \frac{d\,Q}{T} = 0$$

Mentre in tutte le trasformazioni di energia, siano desse riversibili oppure no, noi abbiamo pure:

$$\int d\,Q = W$$

in cui W rappresenta la quantità di lavoro meccanico, misurata in ergs. Questo lavoro meccanico, d'altra parte, è espresso dall'equazione: $W = J\,H$, in cui H è la quantità di calore, misurata in calorie, e J è una costante, conosciuta col nome di equivalente meccanico del calore; il di cui valore è stato trovato pari a 4.19×10^7.

I principî della termodinamica sono esposti chiaramente e concisamente nell'opera di Poynting e Thomson, *Heat*.

Quando non vi ha un ciclo perfettamente riversibile, vale a dire praticamente sempre, l'analisi dimostra che l'entropia può crescere, ma non diminuire.

William Thomson ha pure dimostrato che nell'universo da noi conosciuto l'entropia cresce incessantemente, poichè tutti i processi hanno sempre luogo in un solo senso: Verrà quindi il momento in cui ogni differenza di temperatura sarà scomparsa nell'universo, insieme colle cause che potrebbero dare origine a tali differenze.

Quel postulato fu, a suo tempo, vivamente discusso, ma fu poi definitivamente accettato da tutti gli scienziati, segnatamente da Helmholtz e da Clausius, e quest'ultimo lo formulò nel seguente modo: *l'entropia dell'universo tende ad un massimo.*

Digitized by Google

Clerk Maxwell ha dimostrato che la dissipazione dell'energia è una conseguenza dell'imperfezione dei mezzi, di cui disponiamo per dirigere la condotta di quelle minute porzioni di materia, alle quali, coi loro moti relativi o posizioni successive, è dovuta l'energia.

Egli suppone un recipiente contenente un gaz ad una temperatura completamente uniforme per tutta la sua massa. Il recipiente è diviso in due compartimenti A e B da un tramezzo, attraversato da un certo numero di porte, atte ad essere aperte e rinchiuse senza dispendio alcuno di energia. Un essere intelligente, che egli denomina un « *démone sclettore* », e che è dotato della più acuta sensibilità di percezione per conoscere le velocità relative delle molecole distinte del gaz, sta a guardia di ogni porta, coll'istruzione di aprirla a tutte le particelle del compartimento A, che si presentino dotate di una velocità superiore ad una data velocità V; ma soltanto alle particelle esistenti in A.

D'altra parte quel démone deve aprir le porte a tutte le particelle del compartimento B, che si presentino con una velocità inferiore ad una data velocità v, la quale non è maggiore di V; e solamente a quelle del compartimento B.

Ciascuna molecola che entrerà in B apporterà con sè maggior energia che un'altra molecola che entri in A, per modo che la temperatura di B sarà innalzata, e quella di A sarà scemata, senza qualsiasi perdita di calore o dispendio di energia.

Vale a dire che, per il solo impiego di intelligenza, una massa di gaz, che è ad una pressione e temperatura uniforme può essere scompartita in due parti, nelle quali, tanto la pressione quanto la temperatura siano più elevate in una parte, che nell'altra, e da cui può quindi essere ottenuto un lavoro, mediante dispendio di calore. Supponendo che questo possa essere continuato indefinitamente, coll'aumentare V e col diminuire v, senza liquefare il gaz, la totalità dell'energia sarebbe trasferita alla fine da A in B. Ne consegue che il principio della dissipazione dell'energia si mantiene soltanto in virtù del fatto che noi non abbiamo a disposizione nostra dei mezzi di costringere le azioni delle molecole individuali, sebbene noi possiamo trattare le aggregazioni loro in ammassi, e ciò in causa, non solamente dell'estrema loro minutezza e del loro numero grandissimo, ma eziandio per causa della costanza del loro medio comportamento.

Se noi potessimo trattare individualmente le molecole, noi potremmo

Digitized by Google

effettuare in larga misura ciò che avviene continuamente su piccolissima scala in ogni massa di gaz — cioè l'aggregazione occasionale e passeggera di molecole più calde in una piccola regione, e di quelle altre più fredde in un'altra.

Mediante consimili procedimenti, diretti dall'intelligenza umana, potrebbe adunque essere contrastato in parte, ma soltanto molto parzialmente, l'aumento di entropia.

L'universo, qual'esso è molecolarmente costituito, non può quindi essere un sistema conservativo, senonchè sotto l'influenza di un potere intelligente di forma più elevata che non quella dell'uomo (1).

Il presente capitolo è stato inspirato direttamente dalla discussione di H. Poincaré, nell'opera sua, *La Valeur de la Science*, circa il passato, il presente e l'avvenire della fisica matematica. Le di lui osservazioni sulla storia passata di questo soggetto sono fatte dallo stesso punto di vista, dal quale fu sviluppata da noi nel Capo III, quella discussione circa la teoria delle forze centrali, come fu esposta nei *Principia* di Newton, e come più tardi fu elaborata nella *Mécanique Céleste* di Laplace. Si trovò che i moti dei corpi celesti potevano essere in un modo completissimo coordinati sulla base del considerarli quali corpi di dimensione così piccola in paragone colle loro distanze relative che le posizioni occupate da quelli potevano essere trattati come dei punti veramente matematici, e che le azioni loro reciproche potevano essere espresse come attrazioni inversamente proporzionali alla distanza che separano cotesti punti. Quando venivano indagati altri fenomeni fisici, e non erano trovati esplicabili sulla base delle forze, attrattiva o ripulsiva, varianti in ragione inversa di quadrati delle distanze, l'intiero problema era supposto consistere nella determinazione dell'esponente richiesto per rimpiazzare — 2 nella legge della ragione inversa dei quadrati. L'universo materiale era, difatti, considerato come costrutto di parti-

---

(1) Il precedente proemio di questo capitolo è stato compilato dal traduttore per una più perfetta intelligenza dei capitoli che seguono; e per quanto riguarda la supposizione dimostrativa del Maxwell, esso è ricavato da altre pagine del prof. De-Tunzelmann.

(*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

celle supposte sempre essere separate da distanze che erano grandi al paragone delle dimensioni delle particelle stesse, e sempre attraentisi e respingentisi l'una coll'altra conformemente ad un qualche potere esercitato a distanza, dei poteri frazionarii essendo esperimentati quando dei poteri integrali non potevano essere trovati, che adducessero a risultati in accordo colle osservazioni. Questo modo di vedere era estremamente efficace, e condusse allo sviluppo di teorie matematiche, che non solamente resero possibile di coordinare dei numerosi fenomeni, ma pure di prevederne molti, che erano prima d'allora sconosciuti, e che furono verificati sperimentalmente, quando furono ricercati.

Non deve quindi destar meraviglia che fosse universalmente creduto che questo modello meccanico, quale noi potremmo descriverlo, formasse realmente una rappresentazione completa dell'universo materiale esistente, e che la ricerca di cause più profondamente riposte, che non forze variabili secondo poteri agenti a distanza, fosse un'inchiesta che oltrepassasse i limiti dell'intelligenza umana.

Vi furono alcuni pochi, tra i quali il più eminente, Newton istesso, che non erano soddisfatti di tale rappresentazione, e vedevano la necessità di un etere sottostante, quale base per le azioni reciproche dei corpi materiali tra di loro.

Alla massima parte dei fisici di quei giorni il nome di etere suggeriva soltanto la serie pseudo-filosofica di eteri e vapori che era stata cotanto abbondantemente impiegata come rifugio per l'ignoranza e la superstizione. Essi stimavano quell'ipotesi come una semplice nebbia miasmatica che la luce dell'investigazione scientifica aveva da scacciare per sempre, rivelando il meccanismo dell'universo in una forma altrettanto chiaramente definita, e quasi altrettanto limitata, quanto un pezzo delicato di macchinario appena uscito dal laboratorio dell'artefice.

Noi adesso abbiamo imparato, quale risultato di lunga esperienza, che le rappresentazioni le più perfette che noi possiamo formarci del complesso dei fenomeni naturali sono realmente nient'altro che i più rozzi fra i modelli, e che, sebbene non vi sia una barriera fissata e chiaramente definita, entro i limiti della quale le nostre investigazioni abbiano da restare confinate, tuttavia le barriere non sono meno reali e meno efficaci per la loro mancanza di definizione, e devono riscontrarsi nella complessività ognor crescente delle relazioni reciproche ed interazioni rivelate da ciascun progresso recente.

Le concezioni primieramente limitate erano tuttavia, come indica

Digitized by Google

Poincaré, di servizio inestimabile nell'insegnarci il significato più intimo di ciò che noi denominiamo leggi fisiche, quali solamente delle relazioni costanti tra fenomeni, altrettanto veritiere una volta quanto un'altra; in altri termini, delle equazioni differenziali.

Divenne ben presto evidente che il meccanismo della natura era troppo complesso per essere pienamente investigato dal processo diretto, passo per passo, dei *Principia* e della *Mécanique Céleste;* e furono sviluppati varî principii meccanici, che previamente ponevano i risultati ottenuti in grado di essere applicati ai nuovi fenomeni, in massa, invece di tentare di tener loro dietro, passo, passo, in tutti i loro particolari, partendo dalla legge di Newton dell'azione e della reazione.

Poincaré enumera i più importanti di essi come segue:

1° Principio di Newton, che l'azione e la reazione sono uguali ed opposte;

2° La legge della conservazione dell'energia;

3° Il principio della relatività, secondo il quale le leggi dei fenomeni fisici devono essere identiche per un osservatore, che rimanga in una posizione fissa, quanto per uno trasportato attraverso allo spazio ad una velocità uniforme senza cambiamento di direzione;

4° Il principio della costanza, o conservazione, della materia, che Poincaré cita come il principio di Lavoisier;

5° Il principio dell'azione minima;

6° Il principio di Carnot, o principio della dissipazione di energia(1).

Il principio di relatività è stato esaminato nei suoi particolari nel capo V, e le vedute di Poincaré che lo riguardano, furono discusse, cosicchè non è necessario di ritornarvi sopra. Le di lui vedute riguardanti gli altri principii enumerati sono, per un rispetto, di un carattere simile. La di lui attitudine è quella di uno che teme che i principii, i quali hanno dato prove di essere delle guide degne di fiducia sino ad un certo stadio, appajano perdere molto della loro determinatezza, e quindi della loro attitudine ad inspirare fiducia come guide, via via che noi penetriamo più profondamente nei misteri dell'universo, di cui siamo parte.

Appare inevitabile che debba succedere così.

---

(1) Da quanto abbiamo esposto. Carnot intravide soltanto la possibilità di questa dissipazione, ma morì senza averla riconosciuta. (*N. del tradutt.*)

Digitized by Google

Tutti questi principii sono generalizzazioni basate definitivamente sopra l'osservazione, esperimentalmente diretta oppure in altro modo. Come il campo di osservazione si estende ed aumenta per complessità le nostre generalizzazioni estendono pure il loro scopo, e diventa in modo crescente difficile di esser sicuro che nessuna circostanza essenziale sia stata omessa. Se il modello della forza centrale dell'universo fosse una rappresentazione pienamente adeguata, i principii della conservazione dell'energia e dell'azione minima potrebbero essere considerati puramente come teoremi utili derivati dalla legge dell'azione e della reazione. Persino quando questo sistema tenesse il campo, tuttavia, sarebbe necessario di riconoscere delle azioni non riversibili, tali come la resistenza per attrito, che non potrebbero esistere in un universo intieramente regolato da forze centrali.

Questo riconoscimento fu formulato dapprima per il principio di Carnot, che nella sua forma originale, fondata sulla supposizione della materialità del calore, esprimeva semplicemente il fatto che quando si lascia discendere il calore per un declivio, per modo di dire, oppure un gradiente, da un corpo caldo ad uno freddo, gli si potrebbe far compiere un lavoro meccanico; ma che è teoricamente impossibile, mediante un eguale dispendio di lavoro, di innalzare la stessa quantità di calore sino al livello, per così dire, del corpo caldo, per modo che il processo non è riversibile. Quando la vera natura del calore venne scoperta, questo diventò il principio della dissipazione di energia, o seconda legge della termodinamica, la quale è stata stabilita da Lord Kelvin nella seguente forma:

« È impossibile, per mezzo di un agente materiale non animato, di ottenere lavoro meccanico col raffreddare un corpo al disotto della temperatura dei corpi circostanti ».

Il totale di una quantità di energia organizzata può, tuttavia, essere trasformato in una forma di energia non organizzata, ed è appunto lo stesso nei processi materiali, cosicchè vi è una tendenza per l'energia di passare dalla forma organizzata a quella non organizzata.

Non vi esiste generalizzazione più fermamente fondata dall'esperienza che questa, sebbene l'illustrazione di Maxwell del démone selettore mostri che quella potrebbe essere sormontata per mezzo di un agente dotato d'intelligenza, senza infrazione del principio della conservazione dell'energia, vale a dire, senza condurre al moto perpetuo. Naturalmente noi non siamo autorizzati a concludere assolutamente

Digitized by Google

dalla nostra propria esperienza limitata che la legge della dissipazione dell'energia si estende necessariamente all'intiero universo materiale; ma noi siamo autorizzati a dedurre quella conclusione, soggetta alla condizione che l'intiero universo sia sottoposto alle stesse leggi, che sono in vigore nella porzione di quello, che noi possiamo esplorare; e noi non potremo trarre del tutto delle conclusioni con qualche altra presunzione, riguardo all'universo intiero. Se esso è soggetto alla legge della dissipazione, e non vi sono processi agenti in senso opposto, a noi incogniti, allora l'universo materiale non può essere un sistema conservativo, ma deve aver avuto un principio, e deve andare approssimandosi verso una fine definitiva, in cui tutta l'energia sarà uniformemente distribuita nella forma di moti molecolari non organizzati.

Egli è difficile di supporre che l'universo stellare possa andare così riducendosi al silenzio come un orologio. Più diventano estesi i nostri mezzi di esplorare l'universo stellare, e vieppiù l'esplorazione lo fa apparire quale non dimostrante un'evidenza diretta di sviluppo o di decadenza nella sua totalità, sebbene egli se ne vada procedendo attraverso una vasta serie di trasformazioni cicliche.

Arrhenius suppone che vi possa esistere nelle nebulose un meccanismo che dia origine ad azioni di un carattere consimile a quelle attribuite da Maxwell ai suoi démoni selettori, e così tendano a contrastare la dissipazione di energia; vale a dire che, mentre in alcune parti dell'universo vi è una tendenza ad un passaggio di energia da una forma organizzata ad una non organizzata, vi può essere una tendenza, che agisca in direzione inversa.

Egli pensa che sia possibile che la pressione di radiazione possa avere una parte in questa azione, il di lui argomento essendo in realtà: che il nostro sistema solare è presentemente in un certo stadio di una fra le grandi serie di variazioni cicliche dalle nebulose ai sistemi stellari, variazioni nelle quali la pressione di radiazione gioca una parte importante, come noi vedemmo, e che noi non abbiamo diritto d'arguire, dalle condizioni esistenti presentemente nel nostro sistema solare, circa a quali possano esser state le condizioni a periodi molto distanti del ciclo.

Una speculazione di questa sorta potrebbe essere stata considerata come legittima, se il principio della dissipazione dell'energia non fosse noto per avere qualche altro fondamento all'infuori della nostra esperienza diretta entro una porzione limitata dell'universo.

Digitized by Google

Maxwell ha indicato quella che appare essere la sola via all'infuori di questa difficoltà. La di lui illustrazione fornisce una prova perfettamente definita ed irrefutabile che la dissipazione dell'energia non è, persino secondo la nostra propria esperienza limitata, una legge naturale necessaria, in un universo intelligentemente diretto; ed il concetto di un universo esistente da sè stesso e senza direzione è tale concetto che diventa più e più insostenibile via via che si progredisce nell'addentrarsi nei misteri della Natura. Quel concetto è assolutamente irreconciliabile col nostro presente punto di vista, come esso è definitivamente enunciato nel Capo XVII.

La legge di Newton, dell'azione e reazione, non subisce assolutamente influenza alcuna, per quanto riguarda la sua esposizione formale, dal passaggio al nostro presente punto di partenza.

L'esposizione originale fatta da Newton non restringe quella legge, neppure formalmente, ad azioni tra corpi materiali, sebbene l'estensione di essa, adesso resa necessaria, ad azioni tra l'etere e la materia, non fosse stata contemplata da lui, come realmente non poteva essere. L'addebito di incertezza e di indeterminatezza involto nell'estendere questo ed altri principii meccanici all'etere, sul quale addebito insistette fortemente Poincaré, non è certamente sostenibile per quanto riguarda la espressione perfettamente definita di Larmor intorno all'elettrone; questa critica invero si riferisce in definitiva alla teoria elettronica del Lorentz, la quale fu proposta in una forma molto meno definita e meno completa, e che presumeva l'assenza di ogni interazione meccanica tra gli elettroni e l'etere. Il principio della conservazione della materia è un risultato puramente sperimentale, ed esso si sostiene ad un'approssimazione così stretta per tutti gli scopi pratici, che esso è presentemente una guida sicura come è sempre stato.

Non vi è ammontare di evidenza sperimentale che possa fornire motivo per pretendere una esattezza teorica riguardo a qualche postulato circa fenomeni fisici, perchè ciò non può dirci altro di più se non che quel postulato si sostiene entro i limiti degli errori di osservazione. Qui, difatti, la teoria degli elettroni provvede un principio nuovo, la conservazione degli elettroni, il che è praticamente un postulato veritiero, con una base teorica ben determinata, cioè l'impossibilità di creare o di annientare un elettrone mediante mezzi fisici.

Ancora qui non è persino assoluta l'esattezza, nel senso teorico, poichè è teoricamente possibile, sebbene quasi infinitamente improba-

Digitized by Google

bile, per due elettroni di venir tra di loro ad una collisione tale da annientarsi l'un l'altro.

Il concetto della massa è fondamentalmente cangiato, dal punto di vista teorico, ma non lo è affatto dall'ordinario punto di vista pratico, dacchè i cambiamenti nella massa diventano sensibili solamente quando il corpo è in moto con una velocità che s'approssima a quella della luce.

Vi sono due proprietà associate colla massa di un corpo, cioè il suo peso in date circostanze e la sua inerzia.

Il peso è affatto inalterato, per quanto ci è dato conoscere (1) dal nostro presente punto di vista, ma l'inerzia, la quale primieramente era supposta essere invariabile, dimostra adesso di avere questa proprietà solo quando il corpo non è in movimento con una velocità che s'approssimi a quella della luce. Quando invece esso va movendosi a tale velocità l'inerzia varierà, non solamente colla velocità, ma colla direzione di accelerazione relativa alla linea in moto, come ha dimostrato Abraham. Inoltre, come ha osservato Searle nel 1897, tre metodi di esprimere la inerzia che sono attualmente equivalenti, cioè il rapporto della forza all'accelerazione, il rapporto del momento alla velocità, e quello dell'inerzia cinetica alla metà del quadrato della velocità, conducono tutti a risultati differenti se il corpo va movendosi con una velocità che s'approssima a quella della luce.

Il principio della conservazione dell'energia appare certamente assumere un aspetto di gran lunga meno fondamentale, dal punto di vista della fisica molecolare, che io non posso illustrare meglio che col citare la dichiarazione esplicita di Larmor (*Æther and Matter*, p. 286):

« Un effetto dell'ammettere la sintesi molecolare di principii dinamici tali come quello qui descritto, si è di deporre il concetto di energia dallo stato assoluto ossia fondamentale, che gli è talvolta assegnato; se una costituzione molecolare è fondamentale, l'energia non può esserlo del pari. È apparso che noi non possiamo conoscere alcunchè circa l'ag-

---

(1) Noi vedremo nel prossimo capitolo che certe anomalie, non spiegate ancora, dei corpi celesti suggeriscono la possibilità delle forze di gravitazione dipendenti, ad un piccolo ammontare, dai moti dei corpi che attirano, e che le teorie le più promettenti della gravitazione sembrano indicare l'esistenza di simili effetti. Esse tuttavia sarebbero troppo esigue per dar origine a variazioni percettibili nei pesi di corpi terrestri.

Digitized by Google

gregazione o l'energia totale delle molecole di un sistema materiale, eccetto che il suo valore numerico è diminuito in un modo definito quando il sistema compie un lavoro meccanico o perde calore. L'ammontare definito di energia che gioca una parte così importante nella teoria meccanica e fisica, è realmente l'energia utile meccanicamente, che è sceverata dall'energia aggregata per mezzo di un processo matematico di prendere i termini medî, nel corso del passaggio da un sistema molecolare definito al sistema materiale considerato come materia aggregata in volume. Quest'energia è definita, ma non è, come la materia stessa, un'entità che abbia relazione con un ammontare invariabile; essa possiede semplicemente la proprietà statistica, ancorchè praticamente esatta, basata sul carattere parzialmente non coordinato di aggregazione molecolare, che essa non può accrescere spontaneamente, mentre essa può diminuire, come fa usualmente, nel corso di graduali cambiamenti fisici ».

Se la dissipazione dell'energia è compensata per tutto l'universo, allora il principio della conservazione dell'energia si applicherà necessariamente all'universo nella sua totalità.

Da questo punto di vista ancora più fondamentale, esposto nel Capo XVII, il principio della conservazione dell'energia si dimostrerà avere un significato più grande di quanto esso possegga persino nello schema meccanico. L'energia di un sistema dinamico è qui considerata come la sua sola ultimissima essenza fisica, per modo che la conservazione dell'energia di quel sistema diventa una condizione necessaria della sua esistenza permanente.

Il principio dell'azione minima è stato pienamente considerato nel Capo III.

Digitized by Google

CAPO XVI.

Gravitazione e coesione.

La legge di gravitazione formulata da Newton è una legge sperimentale dedotta dalle osservazioni dei moti dei corpi celesti. La dichiarazione generale di essa, fatta da Newton, e cioè che ciascuna particella della materia nell'universo attira ciascun'altra particella con una forza proporzionale al prodotto delle masse delle due particelle diviso per il quadrato della distanza tra di esse, fu messa innanzi espressamente come un'ipotesi che doveva essere provata dai risultati involti in essa. La sua applicazione ai moti dei corpi celesti involve la correttezza di quella soltanto per le attrazioni di corpi separati da grandissime distanze in paragone colle loro dimensioni. Per questo rispetto non vi è certamente legge fisica la di cui accuratezza sia stata più fermamente stabilita. Per un periodo di tempo considerevole, dopo che essa era stata esposta da Newton, essa fu riputata suscettibile di dubbi, in quanto che i progressi nelle osservazioni astronomiche cominciarono a rivelare irregolarità nei moti planetari, le quali a tutta prima apparivano essere inesplicabili per mezzo di quella legge. Non andò però gran tempo che il progresso fatto da Laplace e da altri nelle indagini matematiche circa i moti dei corpi celesti mostrarono che queste irregolarità erano dovute agli effetti perturbatori provenienti dalle azioni mutue tra i differenti pianeti e satelliti, e ciascun avanzamento fatto nell'investigazione matematica dei movimenti dei corpi celesti apportò ulteriore conferma alla esattezza della legge di Newton.

Tuttavia vi sono alcuni problemi minori nei detti movimenti che non sono stati ancora completamente risolti, e che possono fors'anche trovare la loro soluzione entro i limiti della legge di gravitazione di

Digitized by Google

Newton, se questa vien ritenuta come una legge di non assoluta precisione, ma solamente di un'approssimazione eccessivamente stretta.

Ad eccezione della gravitazione e della coesione, l'intiero complesso dei fenomeni materiali appare, fin qui, essere capace di rappresentazione nei termini di azioni trasmesse attraverso all'etere. La coesione, come noi fra poco vedremo, può essere spiegata pienamente nei termini di attrazione di gravitazione che agisce a distanze piccolissime, di modo che il moderno schema eterico dell'universo abbraccierà la totalità dei fenomeni materiali se la gravitazione sola può essere compresa anch'essa tra gli scopi di quello schema.

Da questo punto di vista noi ci dobbiamo aspettare che la legge di Newton, come altre leggi fisiche, provi di essere definitivamente un'approssimazione fondata sopra l'uniformità statistica, per quanto riguarda i mezzi nostri di investigazione, nelle più piccole particelle che noi possiamo distinguere dei costituenti dell'universo materiale.

Le discrepanze le più meritevoli di nota tra i risultati dell'osservazione astronomica e quelli dedotti dalla teoria, sull'assunto dell'esattezza della legge di Newton, trovansi: — nel moto del perielio di Mercurio, in cui la discrepanza è di circa quarantun secondo di arco in un secolo; nel moto del perielio di Marte; nel moto dei nodi dell'orbita di Venere. Appare anche esservi: — una piccola porzione senza spiegazione del cambiamento nell'eccentricità dell'orbita di Mercurio, alcune non spiegate irregolarità nell'orbita della luna ed alcune anomalie nel moto della cometa di Encke.

L'evidenza dell'esattezza della legge di Newton a distanze moderate è tutta di un carattere indiretto. L'argomento il più convincente in suo favore è il fatto osservato che il peso di un corpo non varia sensibilmente colla sua direzione, o colla sua posizione, eccetto che rispetto al cambiamento di distanza da altri corpi. Questo dimostra che la trasmissione dell'attrazione gravitazionale tra due corpi non è influenzata da materia che si frappone, e, nella supposizione che l'azione sia trasmessa da un mezzo interposto, condurrebbe alla conclusione che le molecole materiali sono ampiamente separate l'una dall'altra in paragone colle loro dimensioni; una conclusione indicata, come noi abbiam veduto, da altre considerazioni indipendenti.

Laplace ha dimostrato (*Mécanique Céleste*, livre XVI, § 6) che l'attrazione da una molecola al centro della terra sopra una molecola alla superficie non potrebbe, in armonia col noto accordo della teoria lu-

Digitized by Google

nare coi risultati dell'osservazione, essere diminuito neanche d'una parte su un milione per causa dell'assorbimento nel suo passaggio attraverso la terra. La sola evidenza diretta della legge è la media concordanza con ciascuna altra delle misure della costante di gravitazione sotto condizioni varie, ed esse non sono sufficienti per stabilire la legge del quadrato inverso con qualche considerevole accuratezza. L'esattezza colla quale è conservato il peso di un corpo attraverso le più svariate trasformazioni fisiche e chimiche dimostra che le azioni mutue delle molecole vicine non possono modificare la loro struttura in un modo che abbia influenza sull'azione loro di gravitazione, cosicchè le particelle separate, o elettroni, devono agire per gravitazione come se ciascuna fosse indipendente dalle sue vicine.

Secondo il nostro presente punto di vista circa la costituzione della materia, la ben nota picciolezza degli elettroni paragonata colle distanze che li separano ci pone in grado di dedurne l'accuratezza della legge a tutte le distanze sensibili direttamente dalla sua esattezza astronomica.

Le forze di gravitazione sono estremamente minute in paragone delle forze elettriche, e sir Oliver Lodge dimostra (*Electrons*, p. 210) che la forza tra due elettroni in contatto, presunti per semplicità essere sferici, è di circa 10^{42} volte la loro forza gravitazionale, vale a dire il loro rapporto è all'incirca quello di un milione di bilioni di trilioni all'unità. In aggregati composti di elettroni di segno opposto in numeri uguali, questi neutralizzeranno l'un l'altro i loro effetti elettrici a distanza, mentre il loro potenziale di gravitazione sarà proporzionale alla somma dei quadrati delle loro cariche; e quindi, com'egli ci fa notare, due corpi consistenti ciascuno di 10^{21} elettroni, vale a dire mille milioni di bilioni, si attrarranno l'un l'altro, a qualunque distanza tra i centri di gravità, con una forza di gravitazione uguale a quella tra due singoli elettroni a quella stessa distanza. Lodge ha espresso l'enorme ammontare di forze elettriche così paragonate con quelle di gravitazione sotto una forma molto più facilmente afferrata nell'esporre che: « Se le elettricità opposte fossero estratte da un milligramma di acqua e fossero date a due sfere distanti un miglio, quelle due sfere si attrarrebbero l'una coll'altra con una forza uguale al peso di dodici tonnellate ».

Noi vediamo pertanto, che gli effetti di gravitazione devono essere del secondo ordine o di uno più alto di piccole quantità, in quanto siano paragonate colle azioni elettriche. A prima vista apparirebbe che questi

Digitized by Google

effetti minuti di gravitazione potrebbero essere spiegati col presumere che le semplici espressioni per l'energia dell'etere, da cui queste proprietà sono state sviluppate, abbiano soltanto da essere considerate come approssimazioni; ma egli è osservato da Larmor che l'introduzione di termini di ordine più alto nelle equazioni implicherebbe la conseguenza che un treno di radiazioni da una stella distante muterebbe la sua forma e subirebbe una dispersione nel suo corso attraverso allo spazio.

Se qualche simile dispersione esistesse, essa avrebbe da essere estremamente minuta, dacchè dei corpi celesti emergenti da un eclisse non dimostrano cambiamenti di colore, come ne sarebbe il caso ove vi fosse una sensibile dispersione. Tuttavia il rapporto della forza di gravitazione a quelle elettriche è così eccessivamente piccolo che la minutissima dispersione che potrebbe esistere senza essere osservata potrebbe ben essere affatto sufficiente per spiegare la gravitazione. Vi è, tuttavia, come osserva Larmor, un'altra e fatale obiezione allo spiegare la gravitazione con questi concetti in ciò che qualsiasi azione dovuta a termini di tanto più alti avrebbe relazione con una radiazione, includendo una velocità di trasmissione dello stesso ordine di quello della luce, il che è assolutamente inammissibile.

Se l'attrazione di gravitazione è un'azione del tipo delle radiazioni trasmessa per mezzo dell'etere ad una velocità finita, essa deve essere soggetta all'aberrazione, appunto come nel caso della luce. Ora è stato dimostrato da Laplace (*Mécanique Céleste*, livre X, § 22) che se un corpo di una massa m_2 sta muovendosi con una velocità v relativamente ad un corpo di massa m_1 ad una distanza r, un'onda di forza di gravitazione emessa dal corpo m_1 con una velocità u, oltre all'esercitare una forza $G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ sopra m_2, nella direzione della linea retta tra m_2 ed m_1, darà origine ad una piccola forza proporzionale a $\frac{m_2 m_1}{r^2}\frac{v}{u}$ agente nella direzione opposta a quella di v, e quindi tendente a diminuire la velocità v.

Se questo viene applicato al moto relativo della luna e della terra, il risultato sarà una continua e secolare diminuzione del raggio medio dell'orbita della luna, dando origine ad accelerazione secolare nella sua velocità orbitale. Tale accelerazione secolare era nota esistere mediante l'osservazione, ma se la sua totalità dovesse essere attribuita

Digitized by Google

all'aberrazione di gravitazione, sarebbe ancor necessario per la velocità di propagazione dell'azione di gravitazione di essere almeno sette milioni di volte maggiore di quella osservata per la luce. L'ammontare di questa accelerazione secolare, sebbene piccolo, era conosciuto con un considerevolissimo grado di precisione; i risultati di osservazioni comparativamente moderni essendo confermati da ricordi di eclissi lunari, che si estendono per molto tempo addietro sino all'anno 729 Avanti Cristo, la data del primissimo ricordo Babilonese. L'indagine di Laplace sul moto della luna relativamente alla terra apparve spiegare praticamente la totalità di questa accelerazione secolare cogli effetti perturbatori dei pianeti più vicini sul moto della luna, ed egli quindi assegnò il più alto limite di un centinaio di milioni di volte la velocità della luce come la velocità minima di propagazione dell'azione di gravitazione.

L'argomento per questo più alto limite è, tuttavia, stato invalidato dalla correzione, comparativamente recente, dell'indagine di Laplace fatta da J. C. Adams, il quale condivise con Leverrier l'onore di dimostrare l'esistenza del pianeta Nettuno mediante le deviazioni di Urano dall'orbita calcolata per esso, dopo la debita deduzione per gli effetti perturbatori dei pianeti previamente conosciuti. Adams trovò che un termine nell'approssimazione, che Laplace aveva considerato come trascurabilmente piccolo, conduceva, quando l'approssimazione era portata ad un grado più inoltrato, ad un termine sensibile, per causa che il piccolo termine trascurato doveva essere diviso da un altro termine, di per se stesso trascurabilmente piccolo, e dar così origine ad un quoziente di sensibile ammontare. I calcoli laboriosi di Adams dimostrarono che le perturbazioni planetarie spiegavano poco più che metà dell'accelerazione secolare osservata, e che il rimanente restava non spiegato finchè Lord Kelvin osservò che l'azione della marea esercitata dalla luna sulla terra cagionerebbe una lenta diminuzione nella velocità di rotazione della terra, e darebbe così origine ad un apparente aumento della secolare accelerazione della luna. Non sembra possibile il calcolare direttamente l'effetto di quest'azione della marea, ma quand'anche esso venisse intieramente trascurato, la velocità di propagazione di gravitazione non potrebbe essere molto minore di venti milioni di volte quella della luce.

La quistione è stata più recentemente discussa da R. Lehmann-Filhès (*Astronomische-Nachrichten*, 1885) e J. von Hepperger (*Wiener-*

Digitized by Google

Berichte, 1888). Il primo di essi, dalla considerazione dell'effetto sui raggi medii delle orbite planetarie, conclude che l'attrazione di gravitazione non può essere propagata con una velocità minore di cinquecento volte quella della luce; l'ultimo, da una considerazione dell'effetto sul raggio medio dell'orbita lunare, arriva ad un milione di volte la velocità della luce come ad una minima velocità di propagazione della gravitazione. L'esistenza di una velocità finita di propagazione non sarebbe, se può essere avvertita, di un qualche aiuto nello spiegare le discrepanze riferite più su a pag. 212, se la legge di Newton fosse mantenuta nella sua originale semplicità, in cui le masse di corpi in moto sono presunte avere valori costanti non influenzati dai loro moti. È stato tuttavia dimostrato che le più notevoli fra queste discrepanze possono essere spiegate per mezzo di una legge generalizzata di un'azione di gravitazione trasmessa con una velocità finita, secondo la quale l'attrazione tra due corpi celesti dipende dal loro moto relativo a ciascun istante, altrettanto quanto dalla distanza istantanea tra di essi, e dai valori delle loro masse, presunti rimanere costanti. Queste considerazioni acquistano grande interesse ed importanza in vista del fatto che la teoria elettrica della materia induce alla conclusione che l'inerzia di un corpo non è assolutamente una quantità costante, ma che la massa elettro-magnetica di un corpo dipende in parte dalla sua velocità; ed inoltre, che l'inerzia in virtù della quale esso resiste ad un cambiamento di moto è una quantità vettoriale dipendente dalla direzione del suo moto relativamente a quella della forza che tende a modificarlo, altrettanto come dal valore numerico della sua velocità. Questo appare difatti suggerire la possibilità che queste discrepanze possano definitivamente trovare una spiegazione in questa variabilità.

È stato molto generalmente supposto che l'argomento di Laplace precluda la possibilità dell'azione di gravitazione, qualunque possa essere la sua natura, essendo propagata ad una velocità paragonabile con quella della luce. Questo è arguito, d'altra parte, da W. Wien (1), che la velocità di propagazione potrebbe essere osservata sperimentalmente soltanto coll'osservare le perturbazioni risultanti, se l'inten-

(1) *Amsterdam Proceedings*, 1900, p. 559; ossia *Jons. Electrons. Corpuscles*, Abraham et Langevin, p. 1905.

Digitized by Google

sità di gravitazione aumenta o diminuisce invece di rimanere costante. Poichè l'intensità realmente rimane costante, egli sostiene che l'effetto di una velocità finita di propagazione può solamente influenzare le perturbazioni dovute ai moti dei corpi che attirano.

Io opino che ciò che prova l'argomento di Laplace si è l'incompatibilità coi risultati dell'osservazione astronomica dell'esistenza, a qualche limite sensibile, dell'aberrazione dell'attrazione di gravitazione, e la stessa osservazione si applica alle più recenti indagini di R. Lehmann-Filhès e di J. von Hepperger. Ciò si applicherebbe quindi ad ogni teoria della gravitazione che ascrivesse questa ad un'azione della natura delle radiazioni, ma non s'applicherebbe ad un'azione, quantunque trasmessa ad una finita velocità attraverso all'etere, la quale non darebbe origine ad aberrazione.

Un metodo che naturalmente ci si offre da se stesso, si è di ricercare l'origine della gravitazione in onde compressibili di etere, comechè, sebbene questa sarebbe un'azione della natura delle radiazioni, la velocità di trasmissione potrebbe allora con tutta verosimiglianza essere dell'ordine richiesto, se la compressibilità fosse sufficientemente minuta. Larmor quindi tentò l'effetto dell'introdurre un termine di compressione nell'espressione dell'energia potenziale dell'etere, ma trovò che questo condurrebbe ad una forza di ripulsione tra due corpi materiali, e di una forma differente numericamente dalla forza di gravitazione. Un'altra supposizione che potrebbe essere fatta sarebbe che vi sia una leggera differenza nell'ammontare tra le cariche degli elettroni positivi e negativi in una molecola, ma questo di nuovo ci condurrebbe ad una forza ripulsiva, come farebbe un effetto statico, rappresentato da un termine nell'espressione dell'energia potenziale, perchè l'avvicinamento di due atomi, come osserva Larmor, accrescerebbe in questo caso la tensione, e quindi lo sforzo, e perciò aumenterebbe in un più alto rapporto l'energia di tensione che dipende dal prodotto della tensione e dello sforzo. Le forze mutue esercitate dagli atomi si opporrebbero quindi al loro avvicinamento.

Lorentz ha tentato in due differenti modi (*Amsterdam-Proceedings*, April 1900) di giungere ad una spiegazione elettrica della gravitazione sulla base della costituzione elettronica della materia.

Nel primo di questi tentativi egli suppose che l'attrazione di gravitazione fosse prodotta da onde elettro-magnetiche di corta lunghezza paragonate con le più piccole distanze per le quali la validità della

Digitized by Google

legge di Newton può essere presunta. Egli abbandonò questa teoria, perchè essa spiegava soltanto l'attrazione di gravitazione coll'aiuto di supposizioni involventi un continuo assorbimento di energia dai corpi materiali. Io posso osservare che ciò implicherebbe pure, non solamente una ragione di propagazione corrispondente a quella dell'ordinaria radiazione elettro-magnetica, ma pur anche effetti di aberrazione dello stesso ordine di quelli che avvengono colla luce.

Nell'altro di lui tentativo Lorentz ha ricorso ad una teoria di più antica data dovuta ad O. E. Mossotti ed F. Zöllner. Il primo, in un volume *Sur les forces qui régissent la constitution intérieure des corps*, pubblicato nel 1836, propose di spiegare la gravitazione colla supposizione che l'etere tanto quanto la materia, fosse di costituzione atomica. Si presumeva che gli atomi della materia si respingessero l'un l'altro secondo la legge dell'inversità dei quadrati, e parimenti gli atomi di etere; ma un'attrazione di un valore numerico leggermente più grande di quello di tali ripulsioni, anch'essa seguente la legge di Newton, era presunta esservi tra gli atomi di etere e quelli della materia. Quest'ipotesi fu semplificata nel 1882 da Zöllner in un volume intitolato *Erklärung der universellen Gravitation aus den statischen Wirkungen der Elektrizität*. Ciascuna molecola gravitante era presunta essere composta di parti sorreggenti cariche elettriche positive e negative, e l'attrazione tra un paio di cariche dissimili era presunta eccedere leggermente in valore numerico la repulsione tra un paio di cariche dello stesso segno. Questa ipotesi è applicata da Lorentz alla materia presunta essere costrutta di elettroni positivi e negativi, ed implica l'identità del rapporto della propagazione dell'azione di gravitazione con quello della luce, tanto nell'etere libero come in mezzi materiali. Questo non sembrerebbe involvere necessariamente effetti di aberrazione, ma egli è difficile di vedere in qual modo possano essere evitate altre conseguenze inammissibili. Per esempio, l'attrazione di gravitazione tra due corpi dovrebbe variare colla natura del mezzo interposto sino ad un limite che sarebbe facilmente osservabile. Inoltre, l'ipotesi non è uno sviluppo dello schema elettro-magnetico, ma una supposizione introdotta in esso allo scopo di spiegare fenomeni specifici, il che costituisce una procedura equivalente, secondo il mio parere, ad un completo abbandono della precisione e della semplicità della teoria degli elettroni.

Una conseguenza degna di considerazione derivante dal presumere essere la gravitazione un'azione trasmessa per mezzo dell'etere fu

Digitized by Google

tratta fuori da Maxwell in una nota alla di lui memoria su « Una teoria dinamica del campo elettro-magnetico » (*Phil. Trans.*, 1865). Egli osserva che le linee di forza in un campo di gravitazione contenente due particelle dalle masse M_1 ed M_2 sarebbero della stessa forma di quelle di un campo magnetico contenente due poli magnetici consimilmente disposti, e colle forze loro m_1 ed m_2, numericamente uguali a M_1 ed M_2, la forza essendo attrattiva nel primo caso e ripulsiva nell'ultimo. Siano W e W′ le energie intrinseche (potenziali) dei campi rispettivi, X ed X′ le forze rispettive agenti durante uno spostamento δx, ed R ed R′ le forze risultanti a punti corrispondenti dei due campi. Allora il lavoro fatto negli spostamenti sarà

$$X\delta x = \delta E,\ X'\delta x = \delta E'.$$

Ora $X = -X'$, per modo che $\delta E = -\delta E'$.

D'onde, quando C è una costante,

$$E = C - E' = C - \Sigma \frac{H^2}{8\pi}\delta\tau,$$

dove $\delta\tau$ è l'elemento di volume, e la somma è estesa attraverso al campo magnetico.

Ora $R = -R'$, cosicchè $H^2 = R'^2 = R^2$,

e quindi $$E = C - \Sigma \frac{R^2}{8\pi}\delta\tau.$$

L'energia intrinseca di un campo di gravitazione deve quindi essere diminuita dall'esistenza di una risultante forza gravitante. Ma l'energia intrinseca è una quantità essenzialmente positiva, e quindi ne segue che quelle parti di spazio dove la risultante forza di gravitazione è nulla, come nella posizione di equilibrio tra due corpi che si attraggono, devono possedere un'energia intrinseca per unità di volume più grande di $R^2/_8\pi$, dove R è il valore il più grande possibile di una forza di gravitazione in ogni parte dell'universo. La presunzione quindi che la gravitazione sorga da un'azione trasmessa per mezzo dell'etere, necessariamente induce alla conclusione che ciascuna porzione di questo mezzo possegga, quando non disturbato, questa enorme energia intrinseca, e che la presenza di corpi materiali influenzi per tal modo il mezzo da diminuire questa energia ovunque vi sia risultante attrazione di gravitazione.

Maxwell non era in grado di intendere in qual modo un mezzo potesse

Digitized by Google

possedere tali proprietà, e fu quindi indotto ad abbandonare l'idea di adoprarsi per ricercare una spiegazione della gravitazione in un'azione trasmessa dall'etere.

Ora la teoria elettrica della materia spiega la seconda proprietà, dacchè la presenza di elettroni dà origine ad una diminuzione dell'elettricità dell'etere entro il campo di loro influenza, e questo, come noi abbiamo veduto, necessariamente implica una diminuzione corrispondente nell'energia intrinseca.

Secondo l'estimo di Sir Oliver Lodge, il valore della costante C, cioè l'energia intrinseca dell'etere quando è in condizione non perturbata, è dell'ordine di 10^{33} erg per ogni cmc., ed appare molto più verosimile che questo estimo sia troppo basso piuttosto che troppo alto. Il più alto valore della forza di gravitazione R positivamente noto a noi è il suo valore alla superficie del sole, dove esso è dell'ordine di $2{\cdot}5 \times 10^3$ unità C. G. S., ossia circa ventisette volte maggiore di quello alla superficie della terra. Il valore $R = 3 \times 10^3$ od $R^2 = 9 \times 10^6$ darebbe quindi un valore minimo per C. Vi è tuttavia nessuna ragione di supporre che il sole sia la massa la più grande fra quante gravitano nell'universo, cosicchè il probabile valore minimo ammissibile per C deve essere più grande di questo, detto dianzi. Ora, se $C = 10^{33}$, R^2 può eccedere 9×10^{32}, ossia R può eccedere 3×10^{16}. Questo viene a dire che R può essere altrettanto come 10^{10}, ossia diecimila millioni di volte altrettanto grande quanto la forza di gravitazione alla superficie del sole. Deve essere notato, inoltre, che la conclusione indicata dalla teoria elettrica non è che 10^{33} sia il valore maggiormente probabile della costante C di Maxwell. Questo valore è indicato come quello più piccolo che possa essere attribuito a C, che può in realtà essere di gran lunga superiore.

In tali circostanze apparirebbe assai difficile che l'ammontare di energia intrinseca che deve essere posseduta dall'etere, se esso è il mezzo per la trasmissione di un'attrazione di gravitazione, possa per una qualche possibilità diventare un'obbiezione valida. Egli è tuttavia interessante di ricercare se egli è possibile assegnare un limite superiore definito alla forza di gravitazione nell'universo. Ora, se il numero dei corpi del nostro universo etereo è indefinitivamente grande, il problema di determinare il valore di R ad un punto dato dello spazio implica la determinazione dell'azione ad un punto dato dell'effetto di un numero infinito di masse attirantisi finite. Questo fu osservato da

Digitized by Google

C. Neumann (1) per il primo, che la soluzione di questo problema in armonia colla legge di Newton può diventare indeterminata. Il problema è stato molto pienamente indagato da H. Seeliger, (2) il quale dimostra che se la quantità totale di materia nell'universo è infinita, la forza di gravitazione può non semplicemente diventare indeterminata a certi punti, ma può pervenire a valori infiniti (3). Egli tentò quindi, ma senza successo favorevole, di trovare qualche modificazione della legge di Newton, la quale ovviasse a questa difficoltà senza venire a conflitto coi risultati dell'osservazione astronomica. È stato osservato da Föppl (4) che la difficoltà poteva essere sorpassata con un postulato circa l'esistenza di masse tanto negative quanto positive nell'universo. Se la somma di tali masse negative fosse supposta essere numericamente eguale alla somma delle masse positive, allora le linee di forza di gravitazione, come le linee di forza elettrica, partirebbero tutte da masse positive e terminerebbero in quelle negative. Noi vedremo che la possibilità dell'esistenza di masse gravitanti sia negative sia positive, è una naturale conseguenza di qualcuna delle più promettenti teorie colle quali siasi tentato di spiegare i fenomeni di gravitazione. Inoltre questo non fa sorgere difficoltà alcuna, perchè le masse negative si attrarrebbero l'una coll'altra secondo la stessa legge delle masse positive, ed al presente grado delle nostre cognizioni sarebbe impossibile di distinguere un sistema composto di masse negative, da uno composto di masse positive. La presenza di masse visibili positive e negative pressochè insieme sarebbe immediatamente osservabile, dacchè masse di segno opposto si respingerebbero invece di attrarsi l'una coll'altra; ma una probabile, se non una necessaria, conseguenza di questa ripulsione sarebbe che sistemi di segno opposto diverrebbero separati da distanze troppo grandi perchè la loro azione mutua avesse da essere osservabile.

È stato osservato da A. Schuster (*Nature*, 1898) che l'esistenza di una massa negativa fornirebbe una spiegazione dell'origine della velocità di rotazione del sistema solare e di quegli altri stellari. A meno che

(1) *Leipsig Abhandlungen*, 1874.
(2) *Astronomische Nachrichten*, 1895; *Münchener Berichte*, 1896.
(3) Lord KELVIN. *Baltimore Lectures*, p. 267.
(4) *Münchener Berichte*, 1897.

Digitized by Google

noi presumiamo che queste velocità di rotazione fossero direttamente impresse da un potere creatore, la loro origine, in armonia coi principii dinamici, deve essere stata accompagnata dalla generazione di eguali ed opposti *momenti di momenti* in altri sistemi, ed in questo caso, sorge la quistione come ed in qual modo i corrispondenti sistemi abbiano sciolto la società, se le forze di gravitazione nell'universo sono intieramente attrattive.

Lord Kelvin (1) ha indagato le conseguenze del supporre che la materia (soltanto positiva), sotto la forma di stelle luminose e stelle spente, ammontasse ad un mille millioni di volte la massa del sole e fosse racchiusa entro una sfera avente al centro la terra ed un raggio di $3{,}09 \times 10^{16}$ km., che includerebbe tutte le stelle aventi una parallasse annuale di non meno di un millesimo di secondo di un arco, vale a dire, tutte le stelle visibili al disotto della 16ª grandezza. Supponendo per semplicità che la materia consista di un mille millioni di stelle di masse uguali, egli trova che se esse sono state in riposo migliaia di millioni di anni addietro, a distanze l'una dall'altra veramente grandi in paragone col raggio della sfera che ora le include, e per tal modo distribuite che esse potrebbero ora temporaneamente essere spaziate ugualmente attraverso questa sfera, il risultato dell'azione mutua di gravitazione sarebbe di dare ad esse una velocità media (calcolata come la radice quadrata della media dei quadrati delle loro velocità attuali) di 50.4 chilometri per secondo. Lord Kelvin osserva che questo non è molto dissimile da quanto conosciamo delle stelle da noi visibili. Inoltre, una distribuzione non uniforme darebbe origine a velocità più grandi di quanto farebbe la distribuzione uniforme. Egli quindi giunge alla conclusione che, quantunque molta materia vi possa essere al di fuori della sfera di 3.09×10^{16} km. di raggio, la quantità totale entro di essa debba stare tra 100 millioni di volte e 2000 millioni di volte la massa del sole.

Era un'antica e rinòmata ipotesi che se noi potessimo vedere abbastanza lontano nello spazio l'intiero cielo apparirebbe essere coperto di dischi di stelle, e che la ragione perchè ciò non era così, dovesse essere ricercata in un assorbimento della luce delle stelle più distanti nel loro

(1) *Baltimore Lectures*, p. 268, o « Sul raggruppamento della materia di gravitazione in ogni parte dell'universo », *Phil. Mag.*, aug. 1901.

Digitized by Google

passaggio attraverso all'etere. Siccome ora noi sappiamo che un simile assorbimento non ha luogo, è stato supposto che la limitazione nel numero visibile sia una prova dell'estensione finita del nostro universo. Questa è tuttavia una conclusione scorretta.

Supponiamo che un migliaio di millioni di stelle siano tutte luminose, e della stessa dimensione e splendore del nostro sole, ed inoltre che esse siano uniformemente distribuite attraverso ad una sfera del raggio di 3.09×10^{16} km., e che non vi siano stelle all'infuori di questa sfera, e ricerchiamo, con tale supposto, quale sarebbe il totale ammontare della luce stellare in paragone colla luce solare. Sia n il numero di stelle per unità di volume, e sia a il raggio di caduna. Il numero in un segmento di raggio q e di spessore dq sarà allora $n \cdot 4\pi q^2 dq$, e la somma delle loro aree apparenti, se vedute dal centro sarà:

$$\frac{\pi a^2}{q^2} n \cdot 4\pi q^2 dq = n \cdot 4\pi^2 a^2 dq.$$

Ora

$$n \cdot 4\pi^2 a^2 \int_0^r dq = n \cdot 4\pi^2 a^2 r.$$

Di nuovo, se N è il numero totale nella sfera di raggio r

$$n = \frac{N}{\frac{4\pi}{3} r^2}$$

cosicchè

$$n \cdot 4\pi^2 a^2 r = N.3\pi \frac{a^2}{r^2}$$

Se α è il rapporto della somma delle aree apparenti di tutte le stelle a 4π,

$$\alpha = \frac{3N}{4} \frac{a^2}{r^2},$$

ed $(1 - \alpha)/\alpha$, che è molto approssimativamente uguale ad $1/\alpha$, è il rapporto dell'area apparente non occupata da stelle alla somma delle aree apparenti dei loro dischi. Quindi α è il rapporto dello splendore apparente del cielo stellato allo splendore del disco del sole; e Lord Kelvin osserva che, con i presunti valori di r e di a, dei casi di una stella che ne ecclissi un'altra pienamente o parzialmente sarebbero così rari da essere trascurabili, ed inoltre questa trascurabile deduzione sarebbe quasi intieramente annullata da diffrazione, il che fa che la luce di due

Digitized by Google

stelle, una delle quali ecclissata dall'altra, è molto prossimamente la stessa quale sarebbe se la stella più distante fosse veduta non intercettata da quella più vicina.

Ora $N = 10^9$, ed $a = 7 \times 10^5$ km., per modo che $r/a = 4.4 \times 10^1{}_0$ e quindi $a = 3.87 \times 10^{-13}$. Ma se r è variato mentre la densità della materia rimane la stessa, N varia come il cubo di r, e quindi a varia semplicemente come r, per modo che per fare a grande 3.87/100, ossia dico, la somma delle aree apparenti dei dischi 4 per cento dell'intiero cielo, il raggio dev'essere $10^{11}\, r$, o 3.09×10^{27} chilometri. Ora la luce percorre 300.000 km. per secondo, ossia 9.45×10^{12} km. all'anno. Essa impiegherebbe quindi 3.27×10^{14} anni nel viaggio dalle stelle le più distanti entro la sfera sino al centro di questa. Ancorchè noi attribuissimo a ciascuna stella l'estimo, spinto oltre ad ogni estremo, di una vita di un billione di anni, come corpo luminoso, la durata di quel viaggio della luce sarebbe di più che trecento volte la vita della stella. Ancorchè adunque noi supponiamo che tutte le stelle dovessero diventare luminose ad uno stesso tempo, più di trecento volte la vita di una stella passerebbe prima che la luce cominciasse a pervenire alla terra dalle stelle lontane, ed a nessun istante vi sarebbe luce che giungerebbe alla terra da più che una minima proporzione di tutte le stelle.

Dacchè la gravitazione non appare verosimilmente di esser capace di essere compresa nello schema elettro-magnetico, diventa necessario di considerare quelle maggiormente promettenti fra le teorie messe in campo indipendentemente da quello schema, e di tentare di stabilire relazioni tra quelle teorie e questo schema.

Sarà tuttavia da consigliarsi, per ragioni che fra breve appariranno, di mostrare che i fenomeni di coesione possono essere spiegati come una conseguenza diretta dell'attrazione di gravitazione, affatto indipendente da una qualche particolare teoria di quest'ultima. È stato dimostrato da Lord Kelvin in una « Nota sulla gravità e sulla coesione », comunicata alla Società Reale di Edimburgo nel 1862, che la coesione sarà una necessaria conseguenza dell'attrazione di gravitazione, alla sola condizione che lo spazio occupato dagli atomi di un corpo materiale sia sufficientemente piccolo in paragone del suo volume; vale a dire, se gli atomi sono sufficientemente piccoli in paragone delle loro distanze mutue. Per provare questo, egli immagina che due cubi omogenei di materia siano collocati con un lato dell'uno in perfetto contatto con un lato dell'altro, mentre un terzo del contenuto di ciascun cubo è

Digitized by Google

condensato in un grandissimo numero, diciamo n, di sbarre quadre perpendicolari alla superficie di contatto dei due cubi, e collocate in modo che ciascheduna sbarra di un gruppo abbia un'estremità in completo contatto con un'estremità di una sbarra dell'altro gruppo, ed intanto si suppongano essere, per il momento, rimossi gli altri due terzi della materia di cadun cubo. La massa di ciascuna sbarra sarà allora $1/3n$ della massa originale di cadun cubo, e per quanto piccole possano essere le masse di due tali sbarre, l'attrazione tra di esse, per unità di area di contatto, potrà essere accresciuta senza limite col diminuire l'area di sezione delle due sbarre pur conservandone le masse loro costanti. Ora l'attrazione totale tra i due gruppi è maggiore che la somma delle attrazioni tra il paio di sbarre, vale a dire, più grande che n volte l'attrazione tra un paio di sbarre confinanti. L'intiera attrazione tra i due cubi può quindi essere fatta raggiungere qualunque valore, per quanto grande, col diminuire sufficientemente le aree di sezioni delle sbarre pur conservando costanti il loro numero e la massa di ciascuna.

Ora supponiamo un altro terzo della massa condensata in sbarre perpendicolari ad un'altra faccia ed alla prima serie, ed il terzo restante in sbarre perpendicolari ad entrambe queste serie, e quindi alle due rimanenti faccie del cubo; e questo sia stabilito per ciascuno dei due cubi.

Allora se i cubi sono fatti su insieme nelle posizioni relative che essi naturalmente tenderebbero ad assumere, cioè per modo che le sbarre siano adattate estremità con estremità, la forza di coesione per unità di superficie di contatto può essere accresciuta sino a qualunque grado coll'aumentare sufficientemente il rapporto dello spazio inoccupato entro i limiti di ciascun cubo allo spazio occupato dalle sbarre.

Questa disposizione particolare fu scelta da Lord Kelvin soltanto per amore di precisione e di semplicità, e com'egli osserva, l'argomento si applica a qualunque disposizione eterogenea o discreta degli atomi della materia, purchè il rapporto dello spazio occupato dagli atomi materiali allo spazio inoccupato da essi (e quindi occupato dall'etere) sia sufficientemente grande. Secondo le nostre presenti vedute della costituzione della materia e della eccessiva debolezza di questa al paragone della solidità dell'etere, la correlazione così stabilita tra i fenomeni di coesione e di gravitazione è della natura la più convincente e soddisfacente.

È stato osservato nel Capo V che Newton espressamente formulò un postulato sulla necessità di qualche mezzo per la trasmissione dell'at-

Digitized by Google

trazione di gravitazione, e questo è molto chiaramente espresso nella di lui terza lettera a Bentley, colla data del 25 febbraio 1692-3. « Egli è inconcepibile che l'inanimata materia bruta possa senza l'intermezzo di qualche cosa d'altro, che è immateriale, operare su altra materia ed influenzarla senza contatto materiale, come ciò dev'essere se la gravitazione, nel senso di Epicuro, è essenziale ed inerente a quella. E quest'è la ragione per cui io desideravo che voi non attribuiste a me la *gravità innata*. Che la gravità potesse essere innata, inerente ed essenziale alla materia, cosicchè un corpo può agire sopra un altro ad una distanza attraverso il *vuoto*, senza l'intermediario di qualche cosa d'altro, per mezzo ed attraverso a cui le loro azione e forza possano essere inviate dall'uno all'altro, è per me un'assurdità così grande, che io credo che nessun uomo, il quale abbia una competente facoltà di pensare in materia filosofica, possa giammai cadervi. La gravità deve essere causata da un agente che agisce costantemente secondo certe leggi; ma se questo agente sia materiale o immateriale, io l'ho lasciato da considerare ai miei lettori ».

Nel quesito 21, alla fine dell'*Ottica* di Newton, la pressione di un mezzo ambiente è definitivamente supposta come l'origine della gravitazione.

Le vedute cosmiche di Huygens (vedi Capo IV) naturalmente lo indussero, nella pubblicazione dei *Principia* di Newton, a ricercare l'origine della gravitazione in qualche sorta di connessione eterea stendentesi attraverso lo spazio che separa i corpi che si attraggono mutuamente. Nell'ammettere che la legge di Newton era in corrispondenza con i fatti osservati, per tutto quanto riguardasse l'attrazione tra i corpi celesti od altre masse che fossero di molto separate tra di loro in paragone delle loro dimensioni, egli non riusciva tuttavia a convincersi che vi fosse una qualche probabilità dell'esistenza della connessione eterea equivalente ad una legge così semplice nel caso di corpi stretti insieme, o di differenti parti dello stesso corpo. L'accumulazione graduale di evidenza circa il soggetto manifesta che la legge come fu stabilita da Newton si sostiene bene per distanze di gran lunga minori di ciò che supponesse Huygens, e che essa conduce a conclusioni che sono in armonia colle osservazioni, quando viene applicata alle molecole costituenti persino di una massa solida. Questo tuttavia non implica la sua applicabilità a masse le cui distanze tra di loro sono paragonabili colle dimensioni loro, e non sembra affatto probabile che questo ne sia il caso. La ragione della

Digitized by Google

sua applicabilità alle particelle costituenti di corpi materiali ha da esser trovata, come si è osservato al principio di questo capitolo, nel fatto che le distanze tra le ultimissime particelle di cui è composta la materia sono grandissime in paragone delle loro dimensioni.

L'estensione della legge a ciascuna particella di materia nell'universo, quando fu stabilita da Newton, era un'ipotesi ardita ma non provata. Essa ora tiene dietro, come una conseguenza della sua provata validità astronomica, accoppiata colla similarità nell'ordine della relazione di dimensioni alla distanza per i corpi celesti e per i sub-atomi della materia.

Uno dei più antichi tentativi di formulare una teoria dinamica della gravitazione fu fatto in una diligente monografia da Giovanni Bernoulli, il più anziano, nel 1734, ed era fondato sopra una combinazione di vortici cartesiani con il cozzo di particelle esterne. Il suo interesse principale, all'infuori della fama matematica dell'autore, consiste nella precisa esposizione dell'ipotesi che la materia sia costrutta ricavandola da un « elemento primario perfettamente uniforme e senza struttura », e che non offra resistenza al moto della materia, e sia quindi un fluido perfetto.

L' « Essai d'une nouvelle Physique Céleste » sarà trovato nella raccolta delle opere di Bernoulli, ed un estratto di ciò che contiene è dato come un ragguaglio nelle Teorie Cinetiche di gravitazione di W. B. Taylor (*Smithsonian Institute Reports*, 1876). Questa relazione contiene un resoconto interessante delle supposizioni e congetture ulteriori di Newton, e delle ipotesi (di merito molto variante) proposte da vari scrittori anteriori a quella data. Non può tuttavia essere male di premunire i lettori contro l'accettazione di ciò che vien esposto circa le condizioni del problema come d'autorità indiscussa. Il criticismo e le conclusioni richiedono pure discernimento.

Prima di procedere alla considerazione delle recenti ipotesi non elettromagnetiche, sebbene eteree, che mi sembrano fornire la maggior promessa di una soluzione definitiva del problema, io devo dedicare un piccolo spazio ad una teoria, la quale, non ostante qualche ovvia deficienza, tenne il campo per un paio di secoli come la sola che manifestasse qualche speranza di un'approssimazione alla soluzione del problema di gravitazione. Questa è la teoria di Le Sage di corpuscoli extraterrestri, che fu accampata nell'anno 1750, e che fu recentemente risuscitata per qualche tempo da Lord Kelvin. Secondo questa ipotesi, la

Digitized by Google

gravitazione è supposta essere dovuta al cozzo di corpuscoli estremamente minuti volanti attraverso lo spazio in ogni direzione possibile. Il cozzo di queste particelle sopra un corpo celeste isolato darebbe origine ad un impeto uguale in tutte le direzioni, per modo che non vi sarebbe forza risultante. Tuttavia nel caso di due corpi, ciascuno riparerebbe l'altro da una porzione di questo bombardamento corpuscolare, cosicchè i corpi sarebbero attratti l'un l'altro. Siccome l'impulso dovuto all'urto è proporzionale alle aree effettive, quest'ultime devono essere proporzionali alla massa. Acciocchè questa condizione possa essere riempita, è stato supposto che le molecole dei corpi materiali siano estremamente piccole relativamente alle distanze che le separano, cosicchè soltanto una piccolissima proporzione dei corpuscoli sarebbe arrestata durante il passaggio attraverso un corpo materiale, ed il numero fermato in tal modo potrebbe quindi essere ritenuto proporzionale al numero delle molecole nel corpo. Due di tali corpi arresterebbero un maggior numero delle particelle che si muovono nella direzione della linea che le congiunge, di quanto ne arresterebbe uno solo; ma delle particelle che li attraversano entrambi in una data direzione, il primo dei corpi ne arresterebbe una certa proporzione fissa della corrente, mentre il secondo corpo, se della medesima densità, arresterebbe la stessa proporzione della corrente che cade sopra di esso. La corrente sul secondo sarebbe tuttavia minore di quella sul primo, per causa del numero fermato dal primo, e quindi il mumero fermato dal secondo sarebbe minore, relativamente alle sue dimensioni, del numero fermato dal primo. Vale a dire che un corpo agirebbe come uno schermo all'altro. Le obbiezioni a questa teoria sono state emesse da Lord Kelvin, il quale tuttavia risuscitò la teoria per qualche tempo col dimostrare come essa avrebbe potuto essere modificata in tal maniera da ovviare a quacuna di quelle obbiezioni. Le particelle avrebbero a muoversi a velocità enormi, poichè altrimenti esse agirebbero come un mezzo resistente ed impedirebbero i moti dei pianeti sino ad un grado da potersi osservare.

Questo punto è stato esaurientemente indagato da Rysánek (*Repertorium für experimental Physik*, 1887) sulla base della teoria cinetica dei gaz. Egli presume che le velocità dei corpuscoli siano distribuite in armonia colla legge di Maxwell e giunge alla conclusione, basata sull'accordo tra l'orbita osservata di Nettuno e quella stessa dedotta dal

Digitized by Google

calcolo, che se la densità delle particelle fosse quella dell'etere, la loro velocità media non potrebbe essere minore di 5×10^{19} centimetri per secondo; il che sarebbe come dire, una velocità che fosse assai di più che mille millioni di volte quella della luce. Questa velocità richiederebbe un enorme e continuo rifornimento di energia da una qualche influenza esteriore all'universo e se, come Maxwell ha osservato, la rata di rifornimento di corpuscoli dovesse per una qualche ragione variare, il valore di ciascuna forza nell'universo sarebbe sottoposto a cambiamento. La preservazione dell'universo sarebbe quindi effettuata soltanto per mezzo di un incessante dispendio di enormi quantità di lavoro, cosicchè la conservazione di energia diventerebbe solo apparente, e sarebbe semplicemente una specie di equilibrio mobile tra provvista e distruzione.

Lord Kelvin osservò che se le particelle fossero perfettamente elastiche non vi sarebbe protezione, poichè in tal caso un corpo ne rifletterebbe altrettante quante egli ne avrebbe fermate. Se esse fossero non elastiche, come suppose Le Sage, che cosa sarebbe di esse dopo il cozzo, e perchè allora i corpi non sarebbero sempre in aumento di dimensioni per la loro accumulazione ? — Inoltre se esse fossero non elastiche affatto, oppure lo fossero solo parzialmente, lo sviluppo di calore sarebbe così enorme che tutta la materia nell'universo sarebbe volatilizzata nel corso di pochi minuti.

La modificazione di Lord Kelvin consisteva nel rimpiazzare le piccole particelle solide con atomi vortici asportanti con loro l'energia generata dall'urto, sotto forma di un'accresciuta intensità di vibrazione, di un ammontare sufficiente per compensare la perdita di energia di traslazione. Egli suppose pure che quest'energia di vibrazione acquistata potesse essere nuovamente trasformata in energia di traslazione mediante azioni mutue nello spazio infinito.

I particolari della teoria di Le Sage sono di poi stati indagati intieramente a fondo da sir Giorgio Darwin in una memoria sull' « Analogia tra la teoria della gravitazione di Le Sage e la ripulsione della luce » (*Roy. Soc. Proc.*, 1905). Egli ha considerato il caso di due sfere soggette al bombardamento, valutando separatamente gli effetti delle componenti normali e tangenziali dei numerosi urti. La conclusione a cui egli giunse si è che nè le componenti normali nè quelle tangenziali dànno origine a forze di attrazione, tra due sfere, le quali variano rigorosamente in ragione inversa dei quadrati delle distanze tra i loro centri.

Digitized by Google

La somma dei due effetti non assicurerà in generale la rigorosa verità della legge della ragione inversa dei quadrati, nè essa garantirà uguaglianza di azione e reazione tra le due sfere. All'inuguaglianza di azione e reazione sarà ovviato se le porzioni elementari di materia sono rigorosamente della stessa dimensione. Vi è un caso limite in cui entrambe le leggi della ragione inversa dei quadrati e quella dell'azione e reazione, sono rigorosamente soddisfatte. Questo sarà il caso in cui i corpuscoli siano assolutamente privi di elasticità, e la ruvidità delle sfere sia tale da annullare assolutamente le velocità tangenziali dei corpuscoli nell'urto, vale a dire, se l'intiera energia di momento è assorbita negli urti. Quest'ipotesi lascierebbe tuttavia sussistere nella sua forma la più acuta la necessità di continuo rifornimento di energia esterna.

Il fatto che un'ipotesi cotanto artificiale, e contenente sì gran numero di difetti, come quella di Le Sage, possa essere stimata meritevole, dopo un lasso di tempo superiore ai dugent'anni, di seria indagine dalla parte di un così eminente fisico, servirà ad imprimere nella mente del lettore quale e quanta sia l'estrema difficoltà presentata dal problema di formare una rappresentazione dinamica dell'azione di gravitazione. Parecchi altri tentativi, oltre a questi di già riferiti, sono stati fatti per perfezionare o modificare l'ipotesi di Le Sage. Uno dei più elaborati fra questi tentativi fu l'ipotesi proposta da Jarolimek (*Wiener Berichte*, 1883), secondo la quale i corpuscoli *gravifici* erano supposti essere identici cogli ultimissimi sub-atomi di materia, e che la legge newtoniana di gravitazione fosse dedotta dalla supposizione estremamente artificiale che la distribuzione delle velocità dei corpuscoli fosse tale che ciascuna porzione dello spazio contenesse n^2 volte altrettanti corpuscoli aventi un effettivo percorso libero di lunghezza r, quanto il numero avente un effettivo percorso libero di lunghezza nr. Oltre a questa artificiosità, l'ipotesi rimuove solamente alcuni dei difetti di quella di Le Sage, ed è anche meno riconciliabile colle presenti vedute sulla costituzione della materia.

Rimangono da considerare due ipotesi, entrambe le quali hanno una caratteristica in comune con quella dei corpuscoli *gravifici*, nella quale entrambe sembrano necessariamente inchiudere la supposizione che il nostro universo etereo formi solo una porzione di un universo più grande, e sembrano ancora costringerci a contemplare azioni fisiche definite che si estendono al di là dei più estremi limiti di quell'etere che riempie tutto ciò che noi conosciamo come spazio.

Digitized by Google

Pochi anni addietro simili ipotesi sarebbero state tenute in conto di speculazioni troppo strane ed improbabili per le pagine d'un romanzo. Ma così vorrebbe una predizione che sarebbe pur possibile di ottenere un'evidenza sperimentale di un effetto così minuto, come un accorciamento del diametro della terra di ottomila miglia, pari ad un ammontare di circa sei centimetri e mezzo nella direzione del suo moto orbitale a ciascun istante, oppure che noi verremmo un giorno a riguardare ciascheduna più minima porzioncella di materia come rassomigliantissima ad un sistema di stelle, in miniatura, con molti cambiamenti e convulsioni dello stesso genere di quelli, che succedono entro di essa, come quelli che noi osserviamo su più vasta scala nel sorgere e nel distruggersi dei sistemi solari del nostro universo stellato.

Se coteste vengono accettate quali teorie legittime — ed esse sono considerate dalle persone le meglio autorizzate ad esprimere un'opinione, quali le più complete e le più soddisfacenti rappresentazioni di fenomeni materiali raggiungibili allo stato attuale delle nostre cognizioni — non vi è ragione di rifiutarsi di contemplare la possibilità che il nostro universo stesso sia appena come una briciola in un altro ben più grande.

Le ipotesi di per loro stesse sono di carattere semplice, e sebbene esse non siano comprese entro ciò che io ho riferito allo schema elettromagnetico, non solamente esse sono conformi a quello, ma ciascuna di esse apparirebbe fornire appunto agli elettroni le forze addizionali, le quali fisserebbero le loro dimensioni e determinerebbero così la scala degli atomi della materia.

La prima di esse fu proposta dal professor W. M. Hicks nei *Cambridge Philosophical Society's Proceedings* per l'anno 1880. Essa è fondata sovra alcune investigazioni di Bjerknes, compiute tra il 1863 ed il 1875, circa il problema delle *pulsazioni*, come egli le ha denominate, di due sfere in un fluido; tali pulsazioni essendo definite come consistenti in periodici cambiamenti di volume, appunto come le vibrazioni consistono di periodici cambiamenti di posizione. Hicks riuscì a sviluppare un metodo per determinare rigorosamente l'azione delle due sfere, e dimostrò come l'azione potesse essere applicata per spiegare la gravitazione della materia consistente di atomi vortici di Kelvin.

Esso è quindi anche applicabile alla materia costrutta di elettroni, poichè la proprietà posseduta da due sfere pulsanti in un fluido, di agire l'una sull'altra con una forza di cui la principale parte varia

Digitized by Google

inversamente al quadrato della distanza, è comune a tutti i corpi pulsanti. Questo si applicherà ugualmente bene ai fluidi debolmente comprimibili, come a quelli incompressibili. Deve essere presunto che gli atomi vortici o gli elettroni pulsino con un periodo costante, e che nessuna delle fasi differisce gran che di più che 90° per ciascun sistema di corpi attraentisi mutuamente, oppure che se simili differenze esistevano una volta, esse sono state eliminate. Un sistema materiale contenente una mistura di atomi che pulsino con ciascuna differenza possibile di fase possederebbe alcune curiosissime proprietà. Per esempio, sebbene due atomi su tre possano attrarre il terzo, essi non si attrarrebbero necessariamente l'uno coll'altro. Secondo questa teoria di gravitazione, egli sarebbe quindi affatto possibile per i corpi di ciascun sistema stellare di attrarre corpi appartenenti ad una serie di sistemi, di respingere quelli appartenenti ad un'altra, e di di esercitare nessuna influenza su quelli appartenenti ad una terza, ed ancora nel tempo istesso i corpi di ciascuno dei sistemi obbedirebbe alla legge ordinaria di gravitazione entro i limiti del loro proprio sistema. La teoria quindi provvede all'esistenza di masse gravitazionali negative, altrettanto quanto positive, ed implica altresì la possibilità di una massa gravitante che sia neutrale rispetto ad un'altra. Se noi nomiamo masse positive quelle che attrarrebbero e sarebbero attratte dai corpi del nostro sistema solare, non sarebbe verosimile che delle masse negative potessero essere spinte verso il nostro sistema con sufficiente energia di moto da farsi violentemente la strada loro entro quello contro la ripulsione a cui esse andrebbero soggette. Sarebbe tuttavia affatto possibile per masse, che sarebbero neutrali relativamente ai corpi del nostro sistema, spinte da repulsione da distanti porzioni dell'universo, di trovare la loro via al nostro vicinato. Questo è per dire che la teoria suppone l'esistenza possibile di materia senza peso entro il nostro sistema.

Affinchè l'ordinaria legge di gravitazione possa essere obbedita entro l'universo quale è a noi noto, le fasi delle pulsazioni devono, come fu esposto prima, essere ristrette a differenze minori di 90°, e sir Joseph Larmor suppone che: « noi possiamo immaginare (idealmente) che la pulsazione sia stata applicata inizialmente sull'esterno confine dell'universo etereo, e di là sia stata istantaneamente comunicata attraverso il mezzo incompressibile a quelle sole località che possono rispondere a quella pulsazione, cioè i nuclei vuoti degli elettroni; e noi possiamo pure

Digitized by Google

immaginare che le pulsazioni così stabilite conservino spontaneamente il tempo e la fase sempre come prima, anche dopo che la causa eccitante che ha stabilita quest'armonia, è stata interrotta» (1).

Nella supposizione che la forza magnetica abbia da essere identificata con una corrente di etere senza torsione, il campo vibrante irradialmente rassomiglierebbe, per tutto quanto riguarda questa corrente senza torsione pulsatoria all'indietro e verso l'avanti, ad un campo magnetico di tipo alternativo nel quale l'elettrone corrisponderebbe ad un magnete unipolare. Esso tuttavia differenzierebbe da un campo magnetico alternato dal lato assai importante che esso non sarebbe accompagnato da spostamento elettrico alternato, e non darebbe quindi origine ad effetti magnetici. Larmor suppose che l'aspetto poco soddisfacente di questo campo radiale quasi magnetico fosse perchè era introdotto per amore della sola gravitazione, e che esso non si presentasse da sè in una qualche diretta correlazione con altri agenti fisici. Quest'obbiezione è ora stata rimossa dal fatto che l'azione sugli elettroni di forze diverse per origine da quella elettromagnetica, sembra essere richiesta al fine di determinare la loro gradazione, la quale non sarebbe effettuata dalle forze provenienti in questo modo.

È stato più tardi dimostrato da A. H. Leahy (2) che l'attrazione tra due sfere che pulsano nella stessa fase e con eguali periodi cambia segno, e diventa mutata in ripulsione, quando la distanza tra di esse eccede una mezza lunghezza di onda. Sarebbe quindi necessario che le onde fossero cotanto lunghe che una mezza lunghezza di onda oltrepassasse la più grande delle distanze per le quali possa, mediante l'accertamento dell'osservazione astronomica, essere ritenuta valida la legge di Newton sull'attrazione di gravitazione.

Un tentativo fu fatto dal professor Challis, in un'opera pubblicata nel 1873, di sviluppare una teoria della gravitazione sulla base di onde compressionali mantenute da una sorgente esterna all'universo, e producente delle vibrazioni nella materia presunta consistere di atomi duri e sferici dotati d'inerzia ed immersi in un etere perfettamente fluido anch'esso possessore d'inerzia. Delle difficoltà matematiche

(1) *Phil. Trans.*, vol. CXC, A, 1897, p. 217.
(2) *Cambridge Phil. Trans.*, vol. XIV, 1885, pp. 45 e 188.

Digitized by Google

tuttavia lo impedirono di poter derivare un qualche risultato definitivo e dimostrabile da queste supposizioni.

Il dott. C. V. Burton (*Phil. Mag.*, febbr. 1909) ha dimostrato che lo stabilirsi ed il mantenersi delle pulsazioni degli elettroni entro i limiti della fase richiesta possono essere spiegati colla supposizione che le onde periodiche compressionali stiano continuamente attraversando l'etere del nostro universo, pervenendo ad esso ed entrandovi dall'ignoto che sta ai di là dei limiti di quello. L'etere è presunto essere molto debolmente comprimibile, la compressibilità essendo presunta essere alquanto aumentata per la presenza di materia gravitante.

Questa comprimibilità addizionale è ottenuta col supporre che l'etere entro ai nuclei degli elettroni sia di densità leggermente minore che nello spazio libero da materia. Inoltre per il provvedere la comprimibilità addizionale richiesta per l'eccitazione delle pulsazioni mediante le variazioni della pressione dell'etere dovute alle onde alternate di compressione e di rarefazione, il dott. Burton considera che questa supposizione rende questa libera mobilità degli elettroni attraverso all'etere più facilmente concepibile di quanto lo sia la supposizione di nuclei fluidi. Questo ha pure il vantaggio di semplificare grandemente le condizioni dinamiche del problema.

Se entro una regione limitata da una superficie chiusa, una massa m di materia potesse essere creata, un certo aumentare di etere, che sarebbe proporzionale ad m, e potrebbe essere denominato Fm, sarebbe estruso dalla regione. La quantità F è definita come l'estrusione di etere per unità di massa di materia.

La compressibilità dell'etere è presunta essere così piccola che le deboli variazioni di densità non daranno origine, ad un qualche sensibile grado, ad onde elettro-magnetiche. L'intiero moto sarà quindi senza torsione. Ora supponiamo dapprima che l'estrusione F sia nulla cosicchè un dato volume occupato da materia contenga lo stesso ammontare di etere come ne sarebbe il caso nell'assenza della materia.

L'etere influenzato dai cambiamenti di pressione dovuti al passaggio delle onde allora, com'esso rigonfiasi all'indietro ed in avanti, porterà puramente con sè qualche materia che può esser presente. Non vi sarà tendenza per le distribuzioni di sforzo, o di forme di sforzo, costituenti gli elettroni, nel precorrere o nel restare addietro seguendo le corporee escursioni dell'etere, cosicchè il moto dell'onda non avrà tendenza ad accelerare gli elettroni relativamente all'etere, e quindi ciascuna por-

Digitized by Google

zione di materia continuerà nel suo stato di riposo, oppure di un moto uniforme od accelerato relativamente all'etere, esattamente come se non avesse luogo moto di onda. Appare quindi (almeno nel caso di lunghezze d'onda sufficientemente grandi), che il passaggio di tali onde non potrebbe essere palesato in un qualche modo concepibile, dacchè esse possono dar origine a fenomeni non percettibili ai sensi nostri.

Noi ora supporremo che l'estrusione E abbia un valore finito. La densità media dell'etere in una regione contenente materia differirà allora dalla densità dell'etere libero, e quindi un'accelerazione corporea generale dell'etere tenderà a produrre un'accelerazione delle molecole della materia rispetto all'etere.

Burton osserva che, poichè la compressibilità è presunta essere estremamente piccola, i cambiamenti proporzionali nella pressione e nell'energia costituzionale del mezzo saranno grandi, relativamente ai cambiamenti proporzionali nella densità, cosicchè se l'ampiezza delle onde non fosse estremamente minuta, relativamente alla rapidità di trasmissione, ne potrebbero risultare effetti che sarebbero palpabili all'osservazione. Questo è tuttavia ovviato dall'immensa lunghezza che ha da essere presunta per le onde, affinchè tutti i corpi celesti, entro una sensibile estensione dell'azione di gravitazione tra l'uno e l'altro, potessero avere gli elettroni loro pulsanti in fasi corrispondenti, il risultato di questa immensa lunghezza essendo che, anche attraverso ad una regione astronomicamente considerevole, la pressione eterea, e quindi la rapidità della radiazione elettromagnetica, possa essere trattata come uniforme a ciascun istante.

Essendo in questo modo pervenuti alla conclusione che queste onde daranno origine ad effetti non osservabili di qualche sorta, noi abbiamo da considerare l'effetto pulsatorio secondario risultante nell'azione di gravità.

Nella supposizione fatta che l'intiero spazio considerato è cotanto circoscritto che le sue dimensioni sono piccole in paragone della lunghezza delle onde, la variazione della pressione primaria sarà sensibilmente nella stessa fase da capo a fondo. Egli è allora dimostrato che quando la distanza tra due corpi è piccola paragonata alla lunghezza d'onda, l'attrazione tra di essi s'allontanerà soltanto dalla legge della ragione inversa al quadrato al secondo ordine di piccole quantità. Se questa condizione non fosse realizzata, e supponendo che le onde se ne vadano indifferentemente in tutte le direzioni, è stato trovato che vi

Digitized by Google

sarebbe un'estinzione graduale dell'attrazione di gravitazione, man mano che le distanze tra i corpi aumentassero al punto sufficiente per diventare paragonabili alle lunghezze d'onda.

Il solo modo possibile di far la prova della teoria per mezzo di risultati numerici si è di partire dalle costanti i di cui valori sono conosciuti più o meno approssimativamente, e quindi procedere, da principio principalmente per congettura, e di poi per tentativi ed errori, e di vedere se le varie quantità di cui si tratta possono essere determinate al punto da dare risultati che non possano essere dimostrati falsi.

Per prender le mosse, vi è la costante G di gravitazione di Cavendish, definita dalla relazione

$$G = \frac{Fl^2}{mm'}$$

dove F è la forza misurata di attrazione tra due corpi di masse m ed m' separati dalla distanza l, di cui il valore è 6.66×10^{-8} C. G. S. unità. La densità dell'etere è supposta essere 10^{12}, e la sua energia costituzionale 10^{33} e la lunghezza d'onda è ritenuta essere 1.5×10^{17} C. G. S. o diecimila unità astronomiche; l'unità astronomica essendo il raggio dell'orbita della terra, cioè circa novantatrè millioni di miglia (circa 150 milioni di chilometri). La lunghezza dell'onda è quindi ritenuta essere prossima ad un trilione di miglia.

Sarà interessante notare i valori che hanno da essere dati a qualcuna delle più importanti quantità allo scopo di adempiere alle condizioni richieste.

La velocità di un'onda compressionale nell'etere è ritenuta pari a 2.19×10^{27} C. G. S. — Vale a dire, un'onda di luce viaggiando ad una velocità di circa 186.000 miglia al secondo (300.000 km.) impiegherebbe oltre a duemila millioni di anni per percorrere la distanza attraversata da un'onda di compressione in un secondo. La frequenza è ritenuta essere pari a 1.29×10^{16} C. G. S.

Il modulo della quantità d'elasticità dell'etere pel valore di 4.78×10^{66} C. G. S., ossia 4.72×10^{60} volte la pressione dell'atmosfera, ed il massimo allontanamento della pressione eterea dal suo valore medio è grande come 3.9×10^{45} C. G. S., ossia 3.8×10^{39} atmosfere. La comprimibilità addizionale dell'etere per unità di densità di materia presente è tuttavia, solamente 4.2×10^{-66} C. G. S., ed il massimo spostamento di etere durante il moto dell'onda è solamente 0.69 micron.

Digitized by Google

L'energia totale per centimetro cubico della perturbazione primaria ha il valore di 1.6×10^{24} erg, mentre l'energia che in un secondo passa attraverso ad un'area di un centimetro quadrato ad angolo retto colla direzione di trasmissione ha l'enorme valore di 3.4×10^{51} erg, ossia 3.4×10^{41} kilowatts, un ammontare di energia che eccede di molti millioni di volte l'intiera provvista del sole di calore disponibile.

Il dott. Burton osserva che: « Noi siamo divenuti assuefatti all'idea che il nostro rapido moto attraverso ad un mezzo di enorme densità non solamente manca di provvederci un'utile sorgente di energia, ma sfida i più raffinati tentativi di palesarla per mezzo di osservazioni terrestri. E vi è nulla di più inerentemente improbabile nella nozione che il nostro universo possa essere attraversato da onde di enorme energia, a noi percettibile solamente per mezzo di un effetto secondario minimo — la gravitazione. Che noi possiamo essere incapaci, anche nel nostro trattare con questo debole fenomeno residuo, di estrarre con profitto continuo la più minutissima parte dell'energia così abbondantemente propagata, è questo un modo di vedere che può apparire a noi alquanto ironico, ma che non è senz'armonia coll'indirizzo dei moderni concetti fisici ».

Purchè le forze esercitate in un campo di gravitazione agiscano nella stessa direzione che gli elettroni positivi e negativi, e siano di grandezze proporzionali, rispettivamente, alle masse di tali elettroni, ne conseguirà l'identica accelerazione delle due denominazioni, senza che forze addizionali del tipo elettrostatico siano chiamate a sussidio. Non vi sarà quindi dissipazione di energia, e conseguentemente non effetto calorifico, come risultato delle onde di compressione. Infatti, il solo effetto percettibile, all'infuori di quello di gravità, sarebbe apparentemente l'addizione di un piccolo termine non elettro-magnetico per l'espressione dell'inerzia o della massa, di un elettrone. Uno degli effetti di tale termine sarebbe di rendere la massa di gravitazione, come l'inerzia, dipendente ad un certo grado dai moti dei corpi attraenti. Come nel caso dell'inerzia, l'effetto sarebbe estremamente piccolo, eccettochè per rapidità approssimantisi a quella di radiazione. Le piccole variazioni di questa natura possono con molta probabilità spiegare alcune delle principali anomalie sospese che sono in conflitto apparente colla legge di Newton.

Digitized by Google

K. Pearson (1) ha dimostrato che, per mezzo di supposizioni alquanto artificiali e complicate, parecchi fenomeni ottici ed altri elettrici, altrettanto quanto il fenomeno di gravitazione, potevano essere spiegati colla teoria delle pulsazioni. La teoria è elaborata con grande ingegnosità e potenza matematica, ma dopo lo sviluppo del molto più semplice e molto più comprensivo schema elettro-magnetico, noto come teoria degli elettroni, essa è piuttosto d'interesse matematico che non d'interesse fisico.

Una teoria pulsatoria di gravitazione abbisognerebbe necessariamente della estremamente alta ragione di propagazione previamente indicata a fine di ovviare ad effetti percettibili di aberrazione. Questo tuttavia sarebbe provveduto mediante l'estremamente piccola comprimibilità dell'etere indicata per mezzo di considerazioni elettromagnetiche. La lunghezza d'onda dimostrata da Leahy essere necessaria preverrebbe un assorbimento sensibile nell'attraversare dei corpi materiali delle dimensioni di cui l'esistenza apparirebbe esser possibile entro le regioni dello spazio accessibili all' osservazione di effetti di gravitazione, per modo che non potrebbe sorgere variazione sensibile nella permeabilità di gravitazione. La grande lunghezza d'onda e l'alta rapidità di propagazione preverrebbero anche la rifrazione o la riflessione di sensibile ammontare.

La fluidità che dev'essere attribuita all'etere suppone, come un'alternativa di metodo per spiegare la gravitazione, l'ipotesi di una pressione idrostatica costante trasmessa attraverso ad esso. La possibilità che la gravitazione potesse in qualche guisa provenire in conseguenza di una simile azione fu vagamente supposta da Newton stesso, e più tardi da Young, ed ha formato la base per molti tentativi che sono stati fatti per risolvere il problema. La fondazione per una teoria definita su queste traccie fu provveduta da Lord Kelvin in una memoria « Sulle Forze sopportate da solidi immersi in un liquido in moto » (*Roy. Soc. Edin. Proc.*, 1870), e fu derivata dalle sue amplificazioni delle indagini di Helmholtz sul moto di un vortice. Lord Kelvin dimostra che quando una corrente costante o « ciclica » senza torsione è una volta stabilita attraverso una o più aperture in un solido mobile

(1) *Quarterly Journal of Mathematics*, 1883; *Cambridge Phil. Trans.*, 1889; *Lond. Math. Soc. Proc.*, 1883; *American Journal of Math.*, 1898.

Digitized by Google

immerso in un liquido, essa continuerà senza cambiamenti per sempre, comunque il solido sia mosso o inclinato, e qualsivogliano influenze esso risenta da altri corpi, ma che se vi sono due o più solidi consimili entro una regione finita, avranno origine forze mutue in conseguenza della corrente. Se tale solido consiste, per esempio, di un tubo lunghissimo e stretto, le linee di corrente alle sue estremità, vale a dire, le linee di influsso e di efflusso, sarebbero esattamente simili alle linee di forza magnetica dovuta ai poli di un lungo magnete a sbarra, la distribuzione della velocità del fluido corrispondendo alla distribuzione della forza magnetica. La velocità per distanze, grandi se comparate col diametro del tubo, e piccole se paragonate alla sua lunghezza, varierebbe quindi inversamente al quadrato della distanza dalla estremità vicina del tubo. Due di tali tubi si attrarrebbero e si respingerebbero l'un l'altro secondo la stessa legge di due sbarre magnetiche, coll'importante distinzione tuttavia, che nel caso dei magneti, dei poli simili si respingono e dei poli dissimili si attraggono l'un l'altro, mentre nel caso dei tubi vi sarebbe attrazione tra estremità simili e ripulsione tra estremità dissimili. Una corrente costante di etere, sia dentro, sia fuori di ciascun elettrone di un sistema gravitante di corpi darebbe pertanto origine ad un'attrazione tra due corpi di dimensioni piccole paragonate alla loro distanza, la qual attrazione varierebbe inversamente al quadrato di questa distanza. Ciascun elettrone formerebbe uno «scarico» o una «sorgente» di corrente di etere, e l'attrazione sarebbe proporzionale al prodotto del numero degli «scarichi» o «sorgenti» in una particella per il numero in quell'altra, purchè lo «scarico» o la «sorgente» siano della stessa grandezza per ciascun elettrone. L'attrazione sarebbe quindi proporzionale al prodotto dei numeri degli elettroni nelle due particelle, vale a dire, al prodotto delle loro masse. Questo sarebbe quindi d'accordo colla legge di gravitazione di Newton. La teoria provvede alla possibile esistenza di masse negative, poichè un sistema in cui gli elettroni fossero degli «scarichi» respingerebbe un sistema di cui gli elettroni fossero delle «sorgenti». La possibilità di due sistemi gravitanti che siano neutrali l'uno all'altro sarebbe esclusa, perchè il solo modo in cui un sistema potrebbe essere neutrale ad un sistema gravitante sarebbe coll'essere composto di elettroni, i quali non fossero nè degli «scarichi» nè «sorgenti», nel qual caso i corpi, che lo costituiscono, non avrebbero azione mutua gravitativa e sarebbero, quale conseguenza ulteriore, senza coesione.

Digitized by Google

La difficoltà di quest'ipotesi quale teoria di gravitazione consiste nello spiegare l'esistenza delle *sorgenti* e degli *scarichi* di etere senza la supposizione di una creazione continua e continua distruzione di etere entro gli elettroni; ed è presumibilmente per questa ragione che Lord Kelvin, nella memoria citata, mette innanzi quest'ipotesi piuttosto come un'illustrazione idrodinamica dell'azione di gravitazione, anzichè come un'ipotesi mediante la quale la gravitazione potrebbe essere spiegata. Vi sono soltanto due alternative. Noi dobbiamo o presumere una lenta, costante espansione o contrazione degli elettroni oppure una corrente di etere attraverso ogni elettrone tra il nostro universo ed un più grande universo, di cui questo forma una porzione. In quest'ultimo caso, ciascun elettrone, vale a dire, ciascuna parte di ciascun corpo, nel nostro universo deve stare sul limite, il che significa che l'universo più grande deve essere uno spazio a quattro dimensioni.

L'ipotesi di elettroni che si espandono è stata condotta a termine matematicamente da G. H. Schott come un tentativo per spiegare l'esistenza delle forze, diverse da quelle del tipo elettro-magnetico, tra gli elettroni, che sembrano fornire il più semplice, se non il solo fattibile, metodo di spiegare la precisione della gradazione degli elettroni indicata dalla osservata delicatezza delle linee dello spettro. La di lui analisi mi sembra indurre alla conclusione che sia la forma di teoria della *sorgente* e dello *scarico*, sia pure la teoria pulsatoria, è capace di spiegare questa precisione. Nella di lui memoria pubblicata il dottor Schott addotta una rata di espansione che condurrebbe al raddoppiamento della dimensione degli elettroni, in trecento anni all'incirca, il chè sembra troppo grande per essere ammissibile, ed in una lettera, a me diretta, egli suppone una rata che raddoppierebbe la dimensione di un elettrone in trecento millioni di anni. Allo scopo di ottenere costante il valore osservato della gravità, sarebbe necessario di assegnare all'etere una densità di più che 10^{100} volte quella dell'acqua. Io non sono consapevole di alcuna ragione che possa essere addotta contro una così alta densità. Lodge ha manifestato dei buoni motivi per credere che essa non può essere minore di 10^{12}, ossia un trilione di volte la densità dell'acqua, e che essa è probabilmente più alta in grado considerevole. La supposizione di elettroni che si dilatano e si contraggono condurrebbe ad una piccola variazione della massa di gravitazione colle velocità dei corpi attraenti, e quindi appare offrire una prospettiva altrettanto buona quanto la teoria pulsatoria di una soluzione delle

Digitized by Google

anomalie nei moti planetari previamente riferite. Un'espansione indefinita od una contrazione consimile potrebbero difficilmente essere considerate come una supposizione legittima, ed il dottor Schott presume realmente una lenta pulsazione di periodo estremamente lungo. Questo fa sorgere la quistione, sia circa a che cosa succederebbe al cambiamento dall'espansione alla contrazione, sia che nel caso di così lenta pulsazione vi sarebbe necessariamente una condizione stazionaria, cioè non vi sarebbe nè espansione nè contrazione per un sensibile periodo, durante il quale la gravitazione, e conseguentemente la coesione di tutti i corpi materiali, sarebbe evanescente, il che implicherebbe apparentemente un catastrofico sollevamento di strati dell'universo materiale. Simili lente, dilatazioni o contrazioni, dei nuclei degli elettroni potrebbero essere supposte sorgere da una costante lenta diminuzione od aumento di pressione applicata all'etere sopra l'intero limite dell'universo, una semplice concezione abbastanza matematica, ma non tale, che sia facile a raffigurarsi fisicamente. Inoltre, questo implicherebbe una dilatazione simultanea od una contrazione attraverso tutto il nostro universo, e non provvederebbe quindi per l'esistenza di masse negative entro di esso.

Riemann suppose nel 1853 che la gravitazione potesse essere spiegata col presumere una corrente, attraverso a ciascuna particella di materia dal nostro universo nell'universo non veduto, « Aus der Körperwelt in die Geisteswelt » (*Gesammelte Werke*, p. 529), ed il professor Schuster, nella sua comunicazione alla rivista *Nature*, riguardante la massa negativa di cui s'è parlato dianzi, supponeva pure la seconda delle due alternative, osservando che essa implica l'esistenza della quarta dimensione, sebbene egli proponesse quella apologeticamente come « un sogno divertente ». Io posso quindi arrischiarmi ad includere in questo capitolo alcuni argomenti in favore di questo punto di vista, che io avevo trascritto prima di venir informato che due tali autorità l'avevano di già patrocinato. Ciascuna teoria, compresa quella di Le Sage, che offra un qualche avvicinamento verso una spiegazione dinamica della gravitazione, appare di avere la caratteristica comune di includere ciò che io posso chiamare la concezione extra-fisica di azioni tra il nostro universo ed un universo più grande entro il quale esso è contenuto. Ora, se noi siamo spinti a simili concetti extra-fisici dall'intento di spiegare la gravitazione, appare a me che l'avvicinamento il più prossimo che noi possiamo fare per raffigurare un confine fisico al nostro

Digitized by Google

universo è per mezzo del concetto matematico che la regione a tre dimensioni costituente il nostro universo materiale forma un limite tra due regioni a quattro dimensioni. Esso sarebbe quindi connesso a queste regioni nella stessa maniera che una superficie nel nostro spazio ordinario tri-dimensionale è riferita alle regioni su ciascun lato di esso; la superficie, per esempio, di un corpo celeste, che separa la regione interna dallo spazio esterno.

Immaginiamo questa superficie coperta da uno strato di etere modificato in tal modo da permettere il moto di corpi materiali in ogni direzione lungo la superficie del corpo celeste, ma non in direzioni all'insù od all'ingiù. Immaginiamo inoltre che tutti i corpi materiali, compresi gli abitanti di questo corpo celeste, siano dello stesso piccolo spessore, e che questi ultimi siano soltanto capaci di subire l'influenza del suono, della luce, o delle onde di calore che scorrono parallelamente alla superficie. Tali abitanti potrebbero trascorrere liberamente per la superficie, ma sarebbero incapaci di formarsi qualche concetto del loro proprio spessore, o di qualsiasi spessore. Essi vivrebbero e si muoverebbero in due dimensioni e non potrebbero probabilmente formarsi un qualche concetto fisico di una terza dimensione. Tuttavia se essi fossero matematici, essi potrebbero estendere la geometria del loro spazio a due dimensioni, e formare una geometria a tre dimensioni, appunto come noi formiamo una geometria a quattro dimensioni. Vale a dire, essi potrebbero formarsi un concetto matematico, sebbene non un concetto fisico, di una regione a tre dimensioni. Ora immaginiamo che una sorgente d'acqua spunti dal terreno da una parte di questo « paese piatto » e sparisca nel terreno dall'altro lato. L'acqua apparirebbe allora agli abitanti essere creata al suo punto di entrata ed essere annientata al suo punto di uscita.

Immaginiamo adesso che noi, e tutti gli altri corpi materiali nel nostro universo, siamo costretti dalla relazione degli elettroni coll'etere a muovere attraverso all'etere solamente in tre dimensioni, ma che esista una quarta dimensione entro a cui noi potremmo muovere, ove non fosse di quella inibizione anzidetta. Noi non potremmo diventare consapevoli di essa, nè formarcene un concetto fisico veritiero, di più di quanto potrebbero gli abitanti del « paese piatto » diventare consapevoli di una terza dimensione, o concepirla fisicamente.

Supponiamo tuttavia che l'etere stesso non sia soggetto a tale limitazione, ma possa fluire all'infuori ed all'indietro della regione a quattro

Digitized by Google

dimensioni, cioè attraverso ai nuclei degli elettroni, e suppongansi pure uguali queste aperture tanto per tutti gli elettroni positivi, quanto per tutti quelli negativi. Deve essere tenuto a mente che ciascun punto nell'universo nostro sarebbe, in simili circostanze, in contatto colle regioni a quattro dimensioni separate dal nostro universo a tre dimensioni, appunto come ciascun punto del « paese piatto » che noi abbiamo immaginato, sarebbe un punto di separazione tra due regioni a tre dimensioni. E di poi supponiamo ancora che il flusso esista, sia dall'interno all'esterno, come nel senso contrario, rispettivamente in tutte le parti del nostro universo abbastanza prossime a noi perchè abbiano luogo le azioni mutue di gravità col nostro sistema; e che ad una qualche lontanissima parte al di là della zona d'influenza di simili azioni, il flusso sia dall'esterno all'interno o viceversa, rispettivamente. L'effetto sarebbe che tutti i corpi i cui elettroni fossero delle sorgenti si attrarrebbero l'un l'altro secondo la legge di gravità, e lo stesso si applicherebbe ai corpi distanti i cui elettroni fossero degli scarichi. Se tuttavia alcuni corpi, i cui elettroni fossero degli scarichi si trovassero abbastanza vicini ai corpi i cui elettroni fossero sorgenti la ripulsione avrebbe luogo secondo la stessa legge invece dell'attrazione. All'esistenza di masse negative vien quindi provveduto, e poichè il flusso sarebbe senza torsione, esso potrebbe essere palesato soltanto dai suoi effetti di translazione, tali quali l'accelerazione ed il ritardo della velocità della luce scorrente con il flusso o contro di esso. L'azione di gravità è tuttavia così piccola e la densità dell'etere così grande che ogni consimile effetto sarebbe di gran lunga al disotto dei limiti de' nostri poteri di osservazione.

A primo aspetto potrebbe sembrare che questa forma della teoria della sorgente e dello scarico non condurrebbe alla piccola variazione dell'azione di gravità colle velocità dei corpi attraentisi quale sembra offrire la più probabile spiegazione di anomalie immanenti, ma una piccola considerazione dimostrerà, io credo, che una tale variazione deve essere aspettata. Il nucleo dell'elettrone, sferico quando è in riposo nell'etere, diventa deformato quando è in moto con una velocità v attraverso all'etere entro uno sferoide appiattito verso i poli, di eccentricità v/c, mentre, come Searle ha dimostrato (*Phil. Mag.*, oct. 1897), tuttora ritiene la proprietà di agire a tutti i punti esterni come se la sua carica fosse concentrata al centro. Un cambiamento nella circolazione dell'etere attraverso all'elettrone sembrerebbe essere una conseguenza necessaria di tale deformazione, e condurrebbe ad una variazione di azione di gravità con la velocità.

Digitized by Google

CAPO XVII.

La sede della Mente nell'Universo.

La teoria fisica che io mi sono ingegnato di esporre nei capitoli precedenti è stata ora estesa sino al punto di dimostrare che essa ha il potere di stabilire rapporti nell'intera complessività dei fenomeni i quali costituiscono l'universo di ciò che noi volgarmente denominiamo materia inanimata.

Lo sviluppo di questa teoria, considerata dal punto di vista ora raggiunto, presenta due ben segnati gradi completamente distinti. Il primo di essi è rappresentato dallo schema meccanico che tratta dei rapporti della materia in volume, e che può essere considerato come formante il primo modello, ossia rappresentazione, dell'universo fisico. L'energia e la materia, ed i rapporti tra di esse, formano i soggetti di questa rappresentazione. La base essenziale di questo schema era il sistema della forza centrale sviluppato sul modello della legge newtoniana sulla gravitazione; e, questa presunta, lo schema si dimostrava perfettamente adeguato alla correlazione dei fenomeni della materia in volume. Galileo, Huygens e Newton, tutte e tre menti di primissimo ordine, sembrano essere stati i primi tra i fisici a prevedere la possibilità dello sviluppo di tale schema meccanico, agente dietro leggi definite stabilite, capaci di essere accertate dai fenomeni osservati, e di determinare la correlazione dei fenomeni naturali senza richiedere l'intervento diretto di una intelligenza esterna. Quelli furono per conseguenza i primi ad effettuare il districamento della fisica dalla teologia, coll'abbandonare, negli scritti loro, tutti i tentativi di dedurre le soluzioni di problemi fisici da supposizioni rispecchianti le intenzioni del Creatore; ma questi scritti rendono perfettamente chiaro che nessuno

Digitized by Google

di essi ha mai contemplato la possibilità di far a meno di una intelligenza creativa come antecedentemente necessaria per l'esistenza di tale schema ordinato. Per esempio, Newton, negli *scholia* ai *Principia*, dichiara che l'esistenza di un Ente dotato di intelligenza e di saggezza è una necessaria induzione dello studio della meccanica celeste, e che il trattare di Dio è quindi una parte della filosofia naturale.

La perfezione a cui lo schema meccanico è stato sviluppato nel corso del diciottesimo secolo condusse al punto che questa antecedente necessità venisse perduta di vista da molti pensatori, e persino da alcune menti di indubbia profondità ed acutezza. Peraltro, ch'io mi sappia, questo non potrebbe esser detto di nessun fisico di prim'ordine.

Il secondo grado è rappresentato dallo schema molecolare, che riguarda il meccanismo della trasmissione del sistema di forze, presunte come postulati del primo schema. Esso tratta dell'energia, dell'etere e della materia, e delle loro relazioni mutue. Noi abbiamo veduto che ciascuna porzione del primo modello, il quale appariva una volta essere definitivamente ultimo, è di per se stessa di una costruzione molto complessa, e che l'uniformità la quale appariva caratterizzare lo schema meccanico è apparente e superficiale essendo soltanto un'uniformità statistica. Noi abbiamo trovato che queste aggregazioni possono soltanto essere indagate per mezzo di ipotesi sviluppate mediante metodi matematici statistici, i quali conducano a deduzioni riguardanti le relazioni tra le parti meccaniche del primo modello. Queste relazioni possono essere verificate oppure confutate dall'esperienza, e così provvedono i mezzi di porre a cimento la validità delle varie ipotesi. Quelle ipotesi che adducono a conclusioni in armonia coll'esperienza sono provvisoriamente accettate, ma sono sempre soggette alla possibilità di essere respinte, ove i risultati dell'ulteriore loro sviluppo, in combinazione con quelli dello sviluppo dei nostri mezzi d'osservazione, fossero trovati tali da portarci ad un conflitto colla esperienza.

Lo sviluppo della teoria molecolare involve in questo modo la costruzione di una struttura entro una struttura, tentativo per formare modelli di ciascheduna delle parti di cui il modello meccanico è costrutto. Nel corso di questo procedimento noi possiamo trovare varii perfezionamenti suggeriti nel nostro modello meccanico originale, e questi perfezionamenti possono cambiare intieramente il carattere di quello.

Vi è tuttavia una condizione essenziale a cui tutti consimili perfe-

Digitized by Google

zionamenti devono conformarsi. Il nuovo modello meccanico deve rimanere meccanicamente conseguente con se stesso, e deve fornire una rappresentazione dei fenomeni puramente meccanici almeno tanto completa e logica quanto era quella data dal primo modello. La teoria molecolare non deve essere convertita in una specie di pozzo di scarico per sbarazzarci dei fenomeni meccanici pei quali vi sono difficoltà, o forse, per l'istante, impossibilità di trovare un posto nel modello meccanico. I fenomeni meccanici devono essere considerati come inesplicati fintantochè essi non sono spiegati meccanicamente. Lo spingerli fuori dello sguardo nel sottostante complesso di fenomeni molecolari, e lo sperare che essi se la sbrigheranno da soli, è intieramente non scientifico. Egli è ugualmente non scientifico di provare di spiegare le apparenti imperfezioni negli schemi meccanico e molecolare coll'invocare l'interposizione diretta di una intelligenza creatrice o direttrice. L'intiero corso del progresso scientifico apporta l'evidenza la meno equivoca che l'intelligenza primaria opera con metodi che sono intelligibili nella luce dell'indagine scientifica, oppure dànno luogo a credere di divenire intelligibili man mano che s'estendano le nostre cognizioni di natura, e che i nostri metodi di inchiesta siano sottoposti ad ulteriore sviluppo.

Non era da aspettarsi che questo fosse riconosciuto altrettanto pienamente quanto all'ora presente, ben anche dalle grandi menti che per le prime mandarono ad effetto lo sceverare la fisica dalla teologia, e Newton stesso cadde in errori di tal genere. In uno *scholium* generale alla fine dei *Principia* egli ascrive l'inizio dei moti planetari all'intervento diretto della Divinità, citando la grande eccentricità delle orbiti delle comete, ed il loro viaggiare nelle profondità dello spazio, quali argomenti contro il derivare le origini loro dalle ordinarie azioni dinamiche. Egli ha pure espressa l'opinione che gli effetti cumulativi delle perturbazioni planetarie osservate condurrebbero definitivamente alla distruzione del sistema solare, a meno che essi fossero specialmente assestati dall'intervento diretto del Creatore.

L'analisi susseguentemente sviluppata da Laplace nella *Mécanique Céleste*, ha dimostrato in modo decisivo che queste perturbazioni erano coerenti colla stabilità dinamica del sistema solare, ed ha per tal modo ovviato alla necessità di appigliarsi all'ipotesi d'un intervento speciale. Nella di lui opera posteriore, l'*Exposition du Système du Monde*, Laplace pose le basi per una teoria dinamica dell'origine dei moti planetarii.

Digitized by Google

Egli si riferisce nella stessa opera alla celebre controversia tra Newton e Leibnitz, nella quale quest'ultimo rimproverò il primo per le di lui ristrette idee intorno alla sapienza ed alla potenza di Dio, mentre Newton ribatteva collo stigmatizzare la teoria di Leibnitz di una *armonia prestabilita* come un miracolo perpetuo. Il commento di Laplace su tale disputa si è che queste varie ipotesi sono state respinte dalla posterità, mentre allo stesso tempo egli rendeva piena giustizia alle matematiche investigazioni di ambo questi grandi uomini. Una copia del *Système du Monde* fu presentata da Laplace a Napoleone il Grande, il quale pare sia stato colpito dalle osservazioni di Laplace su quella controversia, ed in seguito ne lo riprese piacevolmente, osservandogli: « Newton ha parlato di Dio, ma io non trovo questo nome neppur menzionato una sol volta nel vostro libro »; al che Laplace replicò che egli non aveva trovata necessaria quell'ipotesi. Il celebre astronomo, M. Faye (1), nel raccontare quest'aneddoto fa menzione che egli era stato informato da Arago che Laplace udendo, poco tempo prima della sua fine, che quest'aneddoto stava per essere pubblicato nella di lui biografia, richiese in particolar modo che esso fosse soppresso, prevedendo probabilmente che la di lui replica poteva essere interpretata dagli sconsiderati come riferentesi all'esistenza della Divinità quasi fosse soltanto una ipotesi. Laplace era assai troppo profondo pensatore per nutrire tali idee.

Non ci si può aspettare che la teoria meccanica venga a contatto in nessun punto coll'intelligenza, e quindi non hanno da essere prese prima del tempo in considerazione delle indicazioni dell'esistenza dell'intelligenza nell'universo in questa prima approssimazione, salvo che quale necessaria condizione dell'esistenza di essa.

L'assenza di simili indicazioni ha formato talvolta la base di una argomentazione contro l'esistenza di una intelligenza creatrice e direttrice, ed Haeckel, per esempio, ha coltivato quest'argomento molto estesamente. Egli è, tuttavia, perfettamente ovvio che la sua sola validità stia entro i limiti di concezioni schiettamente antropomorfiche. Se l'universo traesse origine da una grande ma imperfetta intelligenza, sarebbe concepibile che un intervento continuo potesse essere richiesto

(1) *Sur l'origine du monde*, Capo VIII.

Digitized by Google

affine di provvedere per contingenze impreviste, ma l'argomento cade intieramente se quest'intelligenza è presunta essere perfetta ed infinita.

Alcuni pensatori hanno sostenuto che il concetto di una tale intelligenza è così difficile, e così lontanamente distante da ogni fenomeno che sia entro i limiti della nostra esperienza, che egli è più semplice di presumere che l'universo, quale noi lo conosciamo, abbia esistito da tutta eternità, e che esso sia di per se stesso l'ultima definitiva realtà e conservantesi da se stesso.

L'insostenibilità di questa tesi controversa è di già apparsa in precedenti Capi. Essa è assolutamente irreconciliabile col principio della dissipazione dell'energia. Questo principio è stato dimostrato dall'osservazione essere universalmente valido per ogni esperimento fisico, sebbene l'illustrazione di Maxwell circa un « démone selettore » abbia mostrato che quella non è una necessaria legge di natura in un universo diretto intelligentemente. Egli è stato arguito che la tendenza osservata che è formulata nel principio della dissipazione forse può essere contrastata da alcune altre condizioni presenti nell'universo, ma per anco sconosciute a noi.

La plausibilità di questo argomento è a prima vista aumentata dall'indicazione di condizioni puramente molecolari, le quali, sebbene al di là della nostra presente esperienza, potrebbero concepibilmente tendere ad opporsi alla dissipazione osservata dienergia. Egli è tuttavia possibile di dimostrare che in qualsiasi universo concepibile non diretto da intelligenza e contenente materia costituita molecolarmente, almeno una funzione, rappresentata nel nostro universo dall'*entropia*, deve necessariamente tendere ad aumentare. Vale a dire, nel nostro universo il principio della dissipazione dell'energia è, nell'assenza di una direzione intelligente, una conseguenza praticamente *necessaria* della costituzione molecolare della materia che essa contiene. Il nostro universo deve quindi, nell'assenza di una intelligenza direttiva, aver avuto un principio e deve tendere verso una fine, nello stesso senso che questo deve potersi applicare ad un orologio che cammina mosso da una molla, oppure ad una lampada ad olio che arde.

Il nostro universo non è quindi, nell'assenza di una direzione intelligente, un sistema conservativo, e dacchè questo è un risultato praticamente necessario della costituzione molecolare della materia, esso

Digitized by Google

non può essere alterato da qualsiasi mezzo concepibile, nell'assenza di una direzione intelligente.

Io ho impiegato il termine *praticamente* necessario riferendomi alla dimostrazione matematica che una tendenza verso un accrescimento di entropia nell'universo è una conseguenza della costituzione molecolare della materia, perchè l'indagine dinamica presenta l'aumento reale dell'entropia, non già come una certezza teoretica, ma come una infinita probabilità. Non sarebbe contradetta nessuna legge di natura se l'entropia fosse per rimanere costante, o per diminuire; eccezion fatta dell'osservazione reale che l'entropia, per quanto concerne la parte dell'universo accessibile all'osservazione, è trovata essere in aumento.

L'indagine dinamica semplicemente prova che la probabilità che l'entropia aumenterà è infinitamente grande. Un'intelligenza direttiva e che ne abbia l'intenzione potrebbe perfettamente mantenere la costanza dell'entropia, o diminuirla per mezzo di azioni di compenso in parti dell'universo inaccessibili a noi.

La matematica dimostra che nell'assenza di una direzione intenzionale, una simile compensazione è infinitamente improbabile. Un esempio tolto da fenomeni più familiari renderà questo più chiaro. Egli sarebbe teoricamente possibile per un giocatore di *whist* di distribuire a se medesimo un giuoco di tredici trionfi successivamente un migliaio di volte, senza scelta alcuna delle carte; ma l'improbabilità, sebbene questa non sia per nulla affatto infinita, è così grande che io reputo non vi sia ricordo alcuno di simile fatto neppure per due sole volte successive. Un esempio familiare della tendenza dell'entropia di un sistema dinamico all'accrescimento è fornito dal prendere per il sistema in quistione un fuoco ed un paiuolo di acqua in contatto con quello. L'aumento dell'entropia qui corrisponde al transferimento di calore dal fuoco all'acqua, il che non è soltanto trovato dall'osservazione essere il caso, ma è dimostrato, dallo stesso processo matematico come quello impiegato nel trattare il problema generale, essere d'infinita probabilità. Essa non è tuttavia una certezza teorica. Una serie di cambiamenti molecolari è dinamicamente possibile, in cui l'entropia diminuirebbe, vale a dire, l'acqua cederebbe calore al fuoco, e potrebbe anche congelarsi, mentre il fuoco è divenuto più caldo. Sarebbe altresì possibile, ma di una improbabilità persino maggiore, che l'entropia rimanesse costante, nel qual caso non vi sarebbe mutuo scambio di

Digitized by Google

calore tra il fuoco e l'acqua, cosicchè l'acqua non sarebbe nè riscaldata nè raffreddata. In conseguenza della possibilità, dimostrata dall'illustrazione del démone selettore di Maxwell, di una intelligente modificazione dei percorsi molecolari, ciascuno di questi improbabili risultati potrebbe essere effettuato da una intelligenza direttiva senza frapposizione di alcuna legge di natura, appunto come una serie indefinita di giochi di tutti trionfi potrebbe essere distribuito per una cosciente selezione delle carte. Se il collocare il paiuolo al fuoco potesse essere ripetuto un infinito numero di volte, la matematica dimostrerebbe che l'accadere di tali esempi di allontanamento dalla legge osservata sarebbe infinitamente probabile, il che è lo stesso come dire, praticamente certo. Il numero delle volte che un paiuolo può essere stato collocato sopra un fuoco nel corso dell'esistenza dell'uomo sulla terra sarebbe tuttavia insufficiente per dare una qualche apprezzabile probabilità che tale evento sia mai occorso, molto meno ancora che esso sia stato osservato. Il lettore munito di sufficienti nozioni matematiche riconoscerà che la certezza che l'universo abbia avuto un principio di tempo è dello stesso ordine che la certezza che un paiuolo di acqua non riterrà la sua temperatura invariata quando verrà collocato sul fuoco, ed è di un ordine più elevato che la certezza che l'acqua non s'agghiaccierà.

L'ipotesi di un universo senza una potenza intelligente, formativa o direttiva, conduce quindi per necessità alla conclusione che esso ha una volta un principio e che esso deve venire ad una fine con ciò che noi denominiamo morte fisica. Questo stato sarà raggiunto quando tutta la sua energia organizzata, od utilizzabile, sia stata trasformata in una uniforme distribuzione di energia non organizzata, quando le fisiche mutazioni di ciascun genere devono cessare. I sostenitori di questa ipotesi sono allora messi di fronte al problema della creazione di un universo nell'assenza di intelligenza creatrice.

La dimostrazione ben definita che la conclusione a cui poc'anzi si è giunti, è una necessità pratica della nota costituzione molecolare della materia, e non puramente una deduzione dall'universalità osservata del principio della dissipazione di energia entro i limiti della nostra esperienza, richiede l'impiego di metodi analitici, i quali, disgraziatamente, sono di lor natura tali che limiteranno il numero di coloro che possono sperare di verificarne da loro stessi la validità. Questo è tuttavia comune a molte fra le più recondite verità della scienza, e coloro

Digitized by Google

che pongono in dubbio tali verità, perchè esse sono in disaccordo colle loro proprie ipotesi devono, ammenochè essi non sieno desiosi di venir classificati tra i ricercatori della quadratura del circolo o del moto perpetuo, dapprima acquistare le nozioni richieste per comprendere gli argomenti mediante i quali essi sono sino a quel punto pervenuti. Un'idea generale della natura dell'argomento può tuttavia essere raggiunta senza molta difficoltà. Qualsiasi serie possibile di cambiamenti di un sistema dinamico, tale, ad esempio, come il nostro universo di etere e materia, può essere rappresentato matematicamente per mezzo del movimento di un punto lungo un certo percorso, lo stato del sistema ad ogni istante essendo completamente specificato quando noi conosciamo la posizione e la direzione del movimento del punto rappresentativo all'istante corrispondente. Se il punto fosse muoventesi nello spazio quando noi lo conosciamo, esso sarebbe, ad ogni punto nel suo percorso, in grado di muoversi lungo ciascuna delle tre direzioni reciprocamente perpendicolari tra di loro, od in qualsiasi direzione intermedia. Questo non offrirebbe una varietà sufficiente di percorsi al punto in moto per porlo in grado di rappresentare la sequela dei cambiamenti di un sistema dinamico neppure di una estrema semplicità, come sarebbe quello consistente di una singola particella. Egli è quindi necessario di supporre uno spazio ideale da essere costrutto, in cui il punto, in qualsiasi posizione si trovi, possa viaggiare in più di tre direzioni reciprocamente perpendicolari, od in qualsivogliano altre intermedie. Questo accrescerebbe il numero dei percorsi possibile ad ogni punto in moto, e col fare quest'aumento proporzionale alla complessità del sistema, egli è possibile di rappresentare tutte le successioni possibili di cambiamenti del più complicato sistema in questo semplice modo.

Il lettore deve tenere a mente che questo aumento passo a passo nel numero delle direzioni reciprocamente perpendicolari supposte esistere nello spazio ideale, esprimente ciò che i matematici denominano le dimensioni dello spazio, è semplicemente un metodo conveniente di rappresentare l'aumento passo a passo nella complessità delle relazioni coinvolte, e si trova che facilita grandemente la discussione matematica del problema. Inoltre questo sembra essere il solo modo possibile di comunicare ai lettori non matematici qualche debole idea della natura delle condizioni che hanno da essere espresse.

Allo scopo di rappresentare i cambiamenti nella materia nell'universo intiero in questo modo, sarebbe necessario di supporre che lo spazio

Digitized by Google

ideale debba essere di tal carattere che il numero delle direzioni reciprocamente perpendicolari in esso fosse sei volte altrettanto quanto il numero delle molecole di materia nell'intiero universo. Se la prova fosse data per disteso, troverebbesi che questo numero è rappresentato da 2N′. Affinchè il punto rappresentativo fosse capace di rappresentare i moti dell'etere nell'universo altrettanto bene, sarebbe necessario di impiegare uno spazio ideale nel quale questo numero 2N′ delle direzioni reciprocamente perpendicolari sia aumentato di un numero 2M′, dove M′ rappresenta il numero delle sorta di vibrazioni nell'etere possibili e distinte, ed è molto maggiore di N′. Il numero totale delle direzioni reciprocamente perpendicolari sarebbe allora 2N′ + 2M′, ed il punto rappresentativo, in qualsiasi posizione si trovi esso, potrebbe muoversi lungo ciascuna di queste direzioni, od in qualsiasi altra intermedia.

Frammezzo all'inconcepibile infinità di percorsi aperti al punto in moto, si è trovato che una proporzione infinitesimamente piccola della totalità corrisponderebbe ad un universo che conservi per sempre il suo stato di mutazione perpetua, mentre tutti gli altri (percorsi) corrisponderebbero ad un universo che passa da uno stato che deve aver avuto un principio di tempo, ad una condizione ultimissima di morte fisica, in cui l'energia originalmente esistente nella materia, ed indispensabile alla sua esistenza continuata come materia, sarebbe quasi intieramente trasferita all'etere. Nello stato finale la porzione infinitesima rimanente nella materia, che sarebbe allora ridotta probabilmente agli elettroni suoi costituenti, sarebbe uniformemente distribuita dappertutto l'universo, e vi sarebbe pure una distribuzione uniforme di energia attraverso a tutto l'etere. L'universo sarebbe passato in uno stato di morte senza più cambiamenti.

A ciascun punto del percorso del punto rappresentativo vi sarebbe un numero infinito di false strade, ossia vie che porterebbero definitivamente il punto allo stato di riposo, per ciascheduna conducente ad una continuazione senza termine del suo moto. Se il punto rappresentativo muovesse in una direzione falsa a più che una infinitesimamente piccola proporzione dei punti attraversati nel suo percorso, esso verrebbe definitivamente a riposo, quando l'universo sarebbe giunto allo stato di morte fisica, in cui non sarebbe possibile cambiamento ulteriore.

Immaginiamoci per un momento capaci di osservare il moto di un consimile punto rappresentativo lungo un percorso giusto, che noi dobbiamo supporre sia in nostro potere di distinguere tra l'infinità

Digitized by Google

di quelli erronei. Siccome noi lo abbiamo osservato d'istante in istante, mov entesi senza errore tra infinite possibilità di errore ad ogni punto, ci è forse possibile di evitare la conclusione che il percorso è stato prescritto a quello da un potere intelligente, e che questa intelligenza invisibile lo è andato guidando nel suo corso? Noi dobbiamo inoltre tener presente alla mente nostra che i percorsi possibili, corretti e falsi come noi li abbiamo nomati, sono percorsi aperti al punto rappresentativo in armonia colle leggi dinamiche alle quali egli è soggetto, cioè le leggi dell'etere e della materia che governano tutti i cambiamenti nell'universo materiale. La possibilità di una rappresentazione consimile prova quindi la compatibilità di simile governo colle leggi di natura esistenti come sono osservate. Inoltre, dacchè la combinazione dell'intelligenza umana che è cristallizzata nella moderna analisi matematica è capace di costrurre un modello così semplice per illustrare il governo dell'intiero universo materiale da una intelligenza suprema, non è più a lungo possibile di sostenere che il concetto di un tale governo sia intieramente al di là del dominio della mente umana. Una simile direzione continua proveniente dall'esterno è qui dimostrata essere una necessità soltanto nell'ipotesi della durata dell'universo senza fine. Nello stesso tempo egli è dimostrato possibile che una consimile direzione possa avverarsi senza nessuna deduzione, o modificazione, dalle leggi dinamiche osservate della meccanica e della fisica molecolare. Un tal governo non sarebbe per nessun verso analogo alle intervenzioni del Creatore supposte da Newton, e sfavorevolmente criticate da Laplace, ma sarebbe strettamente analogo al governo che, come noi vedremo fra poco, si osserva essere effettuato, sopra una scala relativamente minuta, da tutti gli esseri viventi.

Sono stati proposti degli schemi nell'intento di spiegare l'ordine stabilito di natura senza presunzione di una intelligenza primaria, e sarebbe incorretto l'asserire che nessun pensatore competente abbia giammai contemplata la possibilità di svilupparne uno soddisfacente. Può tuttavia essere asserito senza timore di contraddizione da chiunque sia competente a formulare una opinione, che nessun schema di questo genere sia giammai stato presentato che appaia appena superficialmente plausibile a qualsiasi mente eccettochè ad una mente non ammaestrata, incapace di distinguere fra argomento ed asserzione. Nello stato presente delle conoscenze scientifiche noi abbiamo ragione di sostenere che la possibilità di un tale schema è inammissibile.

Digitized by Google

Mentre comparativamente pochi pensatori hanno contemplato la possibilità dell'elaborazione di uno schema dell'universo escludente l'azione dell'intelligenza primaria, un molto maggior numero di essi ha sostenuto che la natura e le qualità di una tale intelligenza deve per sempre rimanere intieramente all'infuori del dominio dell'osservazione e della deduzione umana. Questa posizione *agnostica*, com'essa fu chiamata, fu largamente prevalente durante l'ultima parte del secolo passato, ma molto più generalmente diffusa tra gli studenti di biologia che non tra quelli di scienze fisiche. I lettori ai quali per avventura apparisse quello essere il solo punto di vista legittimo naturalmente riguarderebbero la particolareggiata considerazione della necessità di stabilire come postulato l'esistenza di una intelligenza primaria come estranea allo scopo di un trattato di fisica. Essi avrebbero perfettamente ragione, nella presunzione che questa intelligenza fosse fuori della regione delle investigazioni fisiche. Egli è allo scopo di liberarmi da una simile obbiezione che, prima di procedere a quella considerazione particolareggiata, io indicherò adesso la linea di inchiesta che sarà seguita in questo capitolo.

Io propongo di introdurre, in primo luogo, come un'ipotesi ausiliaria, il concetto di una *mente universale* che si diffonda dappertutto, ossia di una intelligenza ovunque presente, che forma un'entità anche maggiormente fondamentale di quanto nol sia l'etere compenetrante ogni cosa. Io m'ingegnerò quindi, coll'aiuto delle note relazioni esistenti tra energia, etere e materia di effettuare una riduzione alla più semplice e più fondamentale espressione, dell'azione osservata della mente, quale è esibita da forme organiche, nel modificare quanto l'attornia materialmente e nel trasmettere la vita alla sua progenie. Io quindi proverò che, dato solamente il totale ammontare di energia ora presente nell'universo, senza riguardo alla sua distribuzione iniziale, lo stabilire il presente ordine di natura può essere completamente spiegato coll'attribuire alla mente universale il possesso, in forma più altamente sviluppata, di poteri di azione consimile a quelli esibiti in correlazione cogli organismi esistenti, insieme coll'intelligenza necessaria per l'esercizio loro. Finalmente, io argomenterò che il possesso di una tale intelligenza dalla mente universale è una deduzione legittima dalle più alte manifestazioni dell'intelligenza umana, considerate come forme embrionali originate dalla mente universale.

L'ipotesi fornisce una spiegazione soddisfacente del potere, altrimenti

Digitized by Google

inesplicabile, esibito dalla mente umana di leggere in un modo comprensibile nel libro della natura, che è sempre apparso come il più meraviglioso di tutti i portentosi aspetti di quel volume che incute reverente timore. Questo è stato bellamente espresso dal professore W. K. Clifford nel secondo numero del *The Nineteenth Century*, dove, riferendosi all'argomento teistico del dottor Martineau, basato sopra l'esistenza di una legge morale e l'evidenza di un disegno nella natura, egli scrisse come segue: « Io ammetto pienamente che l'ipotesi teistica, così fondata, e considerata separatamente dalle obbiezioni sorgenti altrove, è una ipotesi ragionevole ed una spiegazione dei fatti. L'idea di un ente cosciente esterno è inevitabilmente suggerita, come a me sembra, dall'imperativo categorico del senso morale; ed, inoltre, in un modo affatto indipendente, dall'aspetto della natura, che sembra rispondere alle nostre interrogazioni con un'intelligenza affine alla nostra propria ».

L'unità e l'uniformità della natura, che trova l'espressione sua nel principio della continuità, non può avere concepibile significato nell'assenza dell'intelligenza primaria, e sarebbe difficile di formulare una espressione di questo principio migliore di quella data da Balfour Stewart e da Tait (1): « Presumendo l'esistenza di un supremo Reggitore dell'universo, il principio della continuità può venir detto di essere l'espressione definita in parole della nostra fiducia che Egli non ci porrà in una confusione intellettuale permanente, e che noi possiamo facilmente concepire simili espressioni di fede riferendosi alle altre facoltà dell'uomo ».

Come pure altrimenti, fuorchè per l'operazione dell'intelligenza primaria, potrebbe l'origine degli elettroni diventare concepibile? Secondo le concezioni dello schema elettro-magnetico che io mi sono ingegnato di sviluppare in questo volume, la materia, nelle numerose forme ora a noi note, può essere definitivamente analizzata in due classi di forme di sforzi nell'etere. Ciascuna forma individuale in ciascuna di queste classi rassomiglia a ciascun'altra forma nella sua classe con tale esattezza che tutti i più delicati perfezionamenti degli istrumenti moderni di precisione, aiutati dagli anche maggiormente meravigliosi perfezionamenti dell'analisi matematica, non sono riusciti a rivelarne la

(1) *Unseen Universe*, 6ª ediz., p. 88.

Digitized by Google

più piccola indicazione di variabilità. Le due classi di elettroni, infatti, portano l'impronta evidente di articoli manufatti (1) della cui perfezione la mente la più altamente colta può a mala pena formarsi una concezione solo inadeguata. Non vi è processo fisico conosciuto, non diretto da intelligenza, per mezzo del quale la formazione di anche uno solo di questi elettroni possa essere concepito; nè, ad eccezione dell'infinitamente improbabile coalescenza di due elettroni di due classi differenti, vi è qui nessun simile processo mediante il quale essi possano concepibilmente essere distrutti, a condizione che la fluidità dell'etere sia perfetta. Se, d'altra parte, l'etere possiede la più debole, infinitesima traccia di viscosità, l'intiero universo materiale deve definitivamente disciogliersi in etere privo di forma, senza lasciarsi dietro un vestigio, appunto come un anello di fumo si discioglie nell'aria. L'analisi delle molecole di materia in elettroni non era concepita nell'anno 1873, quando Clerk-Maxwell fece la sua famosa conferenza sulle molecole dinanzi al congresso di Bradford della *British Association*. Noi saremmo tuttavia perfettamente giustificati nell'applicare agli elettroni le parole di conclusione di quel memorabile discorso: « Essi perdurano oggidì come essi furono creati, perfetti in numero, misura e peso, e dagli incancellabili caratteri impressi su di loro noi possiamo imparare che quelle aspirazioni alla accuratezza nel misurare, alla veracità nell'esporre, ed alla giustizia nell'agire, che noi riconosciamo tra le più nobili attribuzioni di noi, come uomini, sono nostre perchè esse sono essenziali costituenti dell'immagine di Lui che nel principio creò, non soltanto il cielo e la terra, ma i materiali onde cielo e terra consistono ».

L'ipotesi della mente universale adduce al concetto di un terzo modello dell'universo consistente di mente, ~~energia, etere e materia,~~ determinante, ma non determinato dallo schema molecolare. Appunto poichè lo schema molecolare non deve essere riguardato come uno scarico per il disfarsi delle difficoltà meccaniche, così lo schema mentale,

---

(1) *Manufatti* letteralmente significa fabbricati a mano. Ora si sa che oggetti fatti a mano non possono mai riuscire nè perfetti, nè perfettamente identici, come qui il senso richiederebbe. Intendasi quindi per manufatti, fabbricati a macchina, vale a dire perfettamente identici, e, per quanto è umanamente possibile, perfetti. È questo il significato attuale di *manufatti* nell'industria, sebbene esso sia un controsenso col suo valore etimologico. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

com'esso può essere denominato, non deve essere considerato come uno scarico per sbarazzarsi delle difficoltà molecolari.

Le relazioni tra i modelli meccanico, molecolare e mentale sono state molto lucidamente stabilite da sir Joseph Larmor (1), il quale osserva, riferendosi ai fenomeni di magnetismo: « Parrebbe che sia possibile l'esistenza di un illimitato ammontare di struttura molecolare e di funzione in un sistema dato, che non è connesso con qualsiasi effetto meccanico che avvenga in quel sistema trattato come materia continua. Questo è perchè, se noi vediamo ciò come un principio indipendente o come un corollario del principio dell'azione, queste relazioni meccaniche sono, di loro propria natura, determinate mediante funzioni analitiche di configurazione, ed i loro soli primi e secondi gradienti (vale a dire, mediante i loro primi e secondi rapporti di variazioni relative sia al tempo sia allo spazio): se anche più alti gradienti si presentassero, il ragguaglio più non reggerebbe oltre. I processi dai quali la nostra concezione dell'uniformità di natura è ottenuta implicano essenzialmente una media di effetti, e perdono l'efficacia loro molto prima che la molecola individuale sia raggiunta. La determinatezza meccanica quindi non implica necessariamente la determinatezza molecolare: perchè allora dovrebbe ciascuna di esse implicare una determinazione nella provincia intieramente distinta della vitale attività? Inoltre, la scienza meccanica ha da fare con sistemi esistenti; non le giova tracciare le circostanze del sorgere o del variare struttura anche nel materiale inorganico.

« Ciò che avviene quando due molecole gazose si uniscono per formare una molecola complessa non è conosciuto eccetto che dalle deboli indicazioni indirette dell'analisi spettrale. Ora, ogni iniziazione di attività organica sembra implicare un cambiamento di struttura, non puramente una perturbazione meccanica, ed è, fin qui, fuori del dominio di leggi meccaniche. Ma le attività di un organismo trattato come un sistema permanente — tale, per esempio, come la propagazione di un impulso nervoso — sono probabilmente abbastanza, una volta che sono partite, per essere della natura delle azioni mutue della materia in volume, cosicchè egli è legittimo il ricercare tra di esse una correlazione meccanica. Ciaschedun processo vitale può quindi concepibil-

(1) *Aether and Matter*, p. 287.

Digitized by Google

mente venir posto in correlazione con un processo meccanico, quanto al suo progresso, a quel grado appunto a cui gli è sperimentalmente possibile di seguirlo, senza prestare appoggio veruno ad una teoria che porrebbe il suo cominciamento sotto il controllo di un tale sistema di relazioni meccaniche. In altri termini, vi è posto per una completa coordinazione meccanica di tutte le funzioni di un organismo, trattato come un sistema materiale esistente, senza richiedere qualsiasi ammissione che simili principii sono supremi nei più remoti ed infinitamente complessi fenomeni coinvolti nel sorgere e nel declinare di una struttura ».

La discussione circa l'essere la mente umana necessariamente confinata ad una conoscenza di fenomeni, vale a dire, fenomeni materiali, soltanto, è molto abilmente trattata dal professore Max Müller nei paragrafi seguenti (1): « Non è punto necessario di dire che il vero nome fenomenale o apparente implica che vi è qualche cosa che appare, qualche cosa di cui noi possiamo per conseguenza affermare che ciò appare, qualche cosa che sembra essere, che è a noi relativo, e così fino a quel punto, ma fino a quel punto soltanto, conosciuto da noi. Quello che appare è, prima che appaia, a noi ignoto, ma esso diventa a noi noto, nel solo modo in cui esso può essere conosciuto, che è, dall'apparenza sua, dalle sue manifestazioni mediante fenomeni, dal suo diventare un oggetto delle umane cognizioni. Egli è a noi noto che senza di ciò il fenomenale sarebbe impossibile, anzi, impensabile. Quello, senza di cui il fenomenale sarebbe impensabile è qualche volta denominato il numenale (2), il reale, l'assoluto, e se diciamo impensabile la sua assenza, noi implichiamo che vi sono certe forme del nostro pensiero dalle quali le nostre cognizioni fenomenali non possono sfuggire, le ben note forme *kantiane* di intuizione e di intelligenza.

« Queste forme, come Kant ha dimostrato, non possono essere il semplice risultato dell'esperienza fenomenale, poichè esse posseggono un

---

(1) « Perchè io non sono un agnostico », *Last Essays*, pp. 349-356.

(2) *Noumeno* o *Numeno*, part. gr. del verbo Νοέω, intendo. Numeni chiamavano gli Scettici le cose percepite dalla mente, per contrapposto alle cose cadenti sotto ai sensi, dette fenomeni. Per consuetudine si scrive Noumeno, ma, appoggiandomi all'autorità del Tommaseo, io scrivo Numeno, quale suona la pronuncia. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

carattere di necessità che nessuna esperienza fenomenale può giammai accampare..... » (1).

Di questo un esempio ci vien fornito dalla seguente osservazione: « Se noi pensiamo del tutto, noi dobbiamo sottomettere alla legge di causalità, una categoria del nostro intendimento senza di cui anche le più semplici conoscenze fenomenali sarebbero impossibili. Noi giammai non vediamo un cavallo, noi siamo soltanto consapevoli di certi stati di nostra propria conoscenza intima, prodotti per il tramite dei sensi nostri; ma che queste affezioni presuppongano una causa, o, come noi lo nomiamo, un obietto al di fuori di noi, è dovuto a quella legge di causalità entro a noi, alla quale noi dobbiamo obbedire, sia che noi lo vogliamo o no. Se quindi noi abbiamo da riconoscere in ciascun singolo obietto della nostra cognizione fenomenale un alcunchè od un potere che si manifesta in quello, e che noi conosciamo, e possiamo solo conoscere attraverso la sua manifestazione fenomenale, noi abbiamo pure da conoscere un potere che si manifesta nell'intiero universo. Noi possiamo appellare quel potere ignoto od inscrutabile, ma noi possiamo anche dirlo il meglio conosciuto, perocchè tutte le cognizioni nostre sono derivate da uno scrutinio delle sue manifestazioni fenomenali. Che esso esista, noi lo sappiamo; che cosa esso sia di per se stesso vale a dire fuori di relazione con noi od incognito a noi, naturalmente non possiamo conoscere, lo stesso com'è impossibile di mangiare la nostra focaccia... ed... averla ancora; ma noi conosciamo che senza di esso l'universo manifesto o fenomenale sarebbe impossibile ».

Ed ancora: « Io non posso far a meno di scoprire nell'universo una causalità che tutto compenetra od una ragione per ciascuna cosa;

---

(1) Io sono affatto d'accordo con BERTRAND RUSSELL (*Principles of Mathematics*, vol. I, p. 4) che la disquisizione di Kant che il ragionamento matematico non è strettamente formale, ma adopera sempre intuizioni, cioè, la conoscenza *a priori* dello spazio e del tempo, non è più oltre sostenibile in causa del progresso della logica simbolica, della quale uno dei risultati è stato il dimostrare che la totalità delle matematiche pure può essere stabilita sopra una base aritmetica, e che le nostre concezioni del tempo, e dello spazio in cui noi esistiamo, non sono intuizioni ma concetti fisici derivati dall'esperienza. Questo tuttavia non invalida l'argomento precedente e nemmeno l'esempio del paragrafo consecutivo, che è uno dei due dati da Max Müller.

Digitized by Google

poichè quand'anche nella mia ignoranza circa i fenomeni io non conosca ancora la ragione di questa o di quell'altra cosa, io sono costretto di ammettere che vi esista qualche simile ragione; io mi sento obbligato di ammettere questo, perchè per una mente quale è la nostra non vi può esistere cosa veruna senza una sufficiente ragione. Ma come conosco io quello? Qui è il punto dove io cesso di essere un agnostico. Io non conosco quello per esperienza, ed ancora io conosco quello con una certezza più grande di qualunque altra che mi potrebbe dare l'esperienza »... « Noi stessi, dopo migliaia d'anni di ricerche fisiche e metafisiche, possiamo dire nulla di più che vi è Νοῦς, che vi è una mente ed una ragione nella natura. *Sa Majesté le Hasard* è stata da lungo tempo sbalzata dal trono negli studi scientifici, e nè la selezione naturale, nè la lotta per la vita, nè l'influenza dell'ambiente, o di altri soprannomi di quello, spiegherà il *Logos*, il pensiero, che coi suoi mille occhi ci guarda attraverso la trasparente cortina della natura e reclama una pensosa ricognizione dal *Logos* entro di noi. Se qualche filosofo può persuadere se stesso che i veri e ben ordinati generi di natura sono il risultato di cause meccaniche, qualunque nome possa egli loro dare, egli muovesi in un mondo intieramente differente dal mio proprio. Egli appartiene ad un periodo del pensiero antecedente ad Anassagora. Per Platone questi generi erano idee; per i Peripatetici essi erano parole o *logoi*; per gli uni e per gli altri essi erano manifestazioni del pensiero.

« Ammenochè questi pensieri non fossero esistiti anteriormente alla loro manifestazione o individualizzazione nel mondo fenomenale, l'umana mente non avrebbe mai potuto scoprirveli e denominarli. Non ci occorre dire più oltre, nel linguaggio della fanciullezza della razza, « Nel principio Iddio creò il cielo e la terra ». Come Cristiani noi dobbiamo dire, col linguaggio di San Giovanni e dei di lui predecessori Platonici e Gnostici, « Nel principio vi era il *Logos* ». Se noi denominiamo quel *Logos* il Figlio, e se noi parliamo di un Padre di cui nessuno conosce altro fuorchè il Figlio, il così detto *Deus ante intellectum*, noi stiamo adoperando un linguaggio umano, ma se noi conosciamo che ogni linguaggio umano è metaforico, noi non tenteremo mai di abusare di queste parole coll'attribuire ad esse un significato strettamente letterale. Il fare così è un creare una mitologia, e con quella tutti i suoi pericoli concomitanti. Ciò che sta oltre il velame di queste parole è, infatti, il legittimo impero di *Agnoia* ossia l'agnosti-

Digitized by Google

cismo. Ma tutto quanto sta al di quà della cortina è dominio nostro, il dominio del linguaggio e più tardi della scienza, che nel *caos* dei fenomeni ha scoperto, e con ciascuna nuova generazione di Aristoteli, Baconi e Darwins è intenta a scoprire di più e sempre più, un *Cosmos* celato, od il riflesso di quel *Logos*, senza il quale la natura sarebbe illogica irrazionale, caotica, ed esistente soltanto accidentalmente, non per volontà di un Potere razionale. Chiamate quel Potere il Padre, o ditelo una Persona, e voi nè ci guadagnerete nè ci rimetterete alcunchè, poichè queste parole sono pur soltanto metaforiche, e ciò che costituisce l'elemento personale nell'uomo od in qualunque altro essere vivente è altrettanto a noi sconosciuto quanto ciò che costituisce l'elemento personale nell'autore, nel pensatore, nell'oratore o nel creatore dei *logoi*. Tutto ciò che io sostengo si è, che se noi parliamo di un *Logos* e di *logoi*, ed intendiamo chiaramente ciò che noi significhiamo mediante queste parole, noi non possiamo dire più oltre che nel principio vi era il *protoplasma* e che il mondo intiero fu evoluto da quello per mezzo di influenze puramente meccaniche od esterne.

« Se noi abbiamo una volta riconosciuto in tutto i generi o le generazioni del mondo materiale, non semplicemente l'incognito, od una sostanza e potere che è inscrutabile, ma i pensieri e la volontà di una mente, quella mente così lontana dall'essere inscrutabile, è sottoposta ad un costante scrutinio, nelle sue manifestazioni senza fine, a mano della scienza umana. Quello è infatti il solo soggetto di tutte le nostre cognizioni, dai primi tentativi nel raggrupparlo rozzamente e dargli un nome sino agli ultimissimi sforzi della ricerca scientifica, intese tutte a classificarlo, a comprenderlo, ad interpretarlo. La totalità delle nostre cognizioni intorno alla natura diventa quindi una ricognizione dei *logoi* di natura, per mezzo del *Logos* di noi stessi. Ciascun genere diventa un *logos*, un eterno pensiero od una parola eterna; anzi, sembra da questo provenire come conseguenza che nella natura non vi sia posto per altro fuorchè per i generi, non vi sia posto per le specie o εἴδη nel senso proprio di questi termini. Qui noi vediamo come la scienza del linguaggio diventa la scienza del pensiero. Se è l'unità di origine che costituisce un genere, la scienza vera ha realmente cognizione di individui che rappresentano un genere, ma non già una specie, il pensiero per scopi pratici alla mente umana, può dare quel nome a varietà nella loro più o meno ereditaria e permanente forma; tali varietà essendo in realtà non di più che una necessaria conseguenza

Digitized by Google

di una individualizzazione e molteplicità »...!. « Io non so di avere approfittato, nella mia strada a questa *Gnosi*, di qualche cosa d'altro fuorchè dei fatti della nostra conoscenza diretta, e delle conclusioni che possono essere dedotte logicamente da quelli. Senza queste due autorità io non mi sento legato ad accettare qualunque prova, sia rivelata o sia non rivelata »..... « In un senso io spero di essere, e sempre sono stato, un agnostico, cioè nel non fare assegnamento su veruna cosa fuorchè sui fatti storici e nel seguire la ragione altrettanto lungi quanto essa ci addurrà in materia di intelletto, e nel giammai pretendere che siano certe le conclusioni che non sono dimostrate o dimostrabili. Quest'attitudine della mente è sempre stata riconosciuta come *conditio sine qua non* di ogni filosofia. Se per l'avvenire questo ha da essere chiamato agnosticismo, allora io sono un vero agnostico; ma se l'agnosticismo esclude il riconoscere una ragione eterna che si diffonde ovunque e compenetra il mondo naturale e morale, se l'ammettere qual postulato una causa razionale per un universo razionale vien detto gnosticismo, allora io sono un gnostico, ed un umile seguace dei più grandi pensatori della nostra razza, da Platone e dall'autore del Quarto Vangelo a Kant e ad Hegel ».

La conclusione che la mente sia l'ultimissimo potere determinativo nella natura, sebbene derivata da altre considerazioni all'infuori di quelle puramente fisiche, delle quali sole noi ci occupiamo, è espressa dal cardinale Newmann (1) nei termini seguenti, belli ed efficaci: « L'agente quindi che ha conservato e che conserva la legge generale di natura, esercitando la sua energia ad un tempo in Sirio e sulla Terra, e sulla Terra nel suo primario periodo altrettanto quanto nel diciannovesimo secolo, deve essere Mente e nulla più, e Mente almeno altrettanto vasta ed altrettanto perdurante nella sua azione di vita quanto le incommensurabili età e spazii dell'universo, su di cui quell'agente ha lasciato le sue traccie ».

Che la necessità di una intelligenza primaria abbia prodotto una forte impressione di se stessa sulla mente del più grande dei biologisti, Carlo Darwin, ci è dimostrato nella di lui lettera ad Asa Gray, scritta al 22 maggio 1860, e nella quale egli osserva: « Ad ogni modo io non posso essere soddisfatto nel vedere questo meraviglioso Universo, e

(1) *Grammar of Assent*, p. 70.

Digitized by Google

la natura dell'uomo specialmente, e nel concludere che ogni cosa è il risultato di una forza bruta. Io sono propenso a contemplare ogni cosa come risultante da leggi designate, con i particolari, sieno buoni o cattivi, lasciati al compimento di ciò che noi chiamiamo caso. Non è già che questa nozione del tutto mi soddisfi ».

In una lettera posteriore (26 novembre 1860) allo stesso corrispondente egli scrisse: « Io sono conscio di trovarmi in un intorbidamento oltremodo senza speranza. Io non posso pensare che il mondo, come noi lo vediamo, sia il risultato di un caso; ed ancora io non posso riguardare ciascuna cosa separata come il risultato di un disegno ».

Dal nostro presente punto di vista, una semplice e naturale soluzione di questa difficoltà ci si presenta. Noi siamo costretti, dalle nostre naturali limitazioni, di approcciare la considerazione dello schema molecolare dal punto di partenza dello schema meccanico, e di molti dei problemi del primo può soltanto essere intrapreso lo studio mediante i metodi statistici appartenenti al calcolo delle probabilità. I più minuti particolari di questi problemi sono quindi al di là del potere dei presenti metodi, eccettochè fino al punto a cui possano essere applicate le leggi del caso. Quello è il solo senso in cui il fisico può ammettere che questi particolari sono lasciati al compimento del destino. Lo schema mentale, ancora, può solamente essere approssimato mediante lo schema molecolare, e deve quindi esibirci tutta l'apparente indeterminatezza di quest'ultimo, insieme con ciò che è inerente nella sua relazione collo schema molecolare stesso, e pertanto persisterebbe ancora quand'anche dovessero i nostri metodi di investigazione raggiungere una perfezione completamente sufficiente per palesare lo schema molecolare al nostro intendimento. Questo in nessun modo impedisce la determinazione completa dello schema meccanico mediante quello molecolare, o di quest'ultimo mediante lo schema mentale.

Non v'è modo di sfuggire la conclusione che una causa determinante deve essere ricercata al di là dello schema molecolare. Vi è una, e soltanto una sola tale causa cognita a noi — la nostra propria volontà o la mente —; ed i principii fondamentali dell'indagine scientifica ci adducono quindi a ricercare nell'estensione della mente per la determinazione dello schema molecolare, ed inoltre, dell'intiero ordine di natura. Noi troviamo che lo schema mentale, introdotto semplicemente come una ipotesi operativa, si dimostra soddisfacente a ciascun punto,

Digitized by Google

in cui lo schema molecolare è trovato essere insufficiente, ed il tentativo di ignorarlo nello sviluppo di ogni schema che tenti di spiegare l'ordine di natura, sarà trovato invariabilmente aver bisogno della sua introduzione in qualche dissimulato e non scientifico modo, che molto comunemente prende la forma di personificazione della legge naturale, una delle peggiori fra le assurdità pseudo-scientifiche.

« Che cosa », chiede Huxley (1), « sono la crudele necessità e la « legge ferrea » sotto di cui si lamentano gli uomini? Veramente, essi inventarono gli spauracchi nel modo il più gratuito. Io suppongo, se vi è una « legge ferrea », è quella della gravitazione; e se vi è una necessità fisica, si è quella di una pietra, che, mal sostenuta, deve cadere al suolo. Ma che cosa è tutto ciò che noi conosciamo realmente, che noi possiamo conoscere, circa questi ultimi fenomeni? Semplicemente che, dietro tutta l'esperienza umana, le pietre sono cadute al suolo in tali condizioni; che noi non abbiamo la più piccola ragione per credere che ogni pietra che si trovi in tali circostanze non cada al suolo; e che noi abbiamo, al contrario, ciascuna ragione di credere che ciò accadrà così. È molto conveniente d'indicare che tutte le condizioni di credenza sono state riempite in questo caso, col denominare la dichiarazione che le pietre mal sostenute cadranno al suolo « una legge di natura ». Ma quando, come avviene comunemente, noi mutiamo *volere* in *dovere*, noi introduciamo un'idea di necessità che il più sicuramente non è riposta nei fatti osservati, e non ha potere che io possa scoprire ovunque. Per parte mia, io totalmente ripudio ed anatemizzo l'intrusa. Io conosco il Fatto, io conosco la Legge; ma che cosa è questa Necessità, se non che un'ombra vana della fantasia della mia propria mente? Ma se è certo che noi non possiamo avere conoscenza della natura sia della materia, sia dello spirito, e che la nozione di necessità è qualche cosa illegittimamente intrusa nella perfettamente legittima concezione della legge, la posizione materialistica che vi sia nulla nel mondo fuori della materia, della forza e la necessità, è così totalmente destituita di ogni giustificazione come fra i dogmi teologici quello maggiormente privo di fondamento ».

L'idealista puro accetta la mente come l'entità fondamentale attraverso alla quale sola la rappresentazione che noi chiamiamo l'esterno

(1) « Physical Basis of Life », *Lay Sermons*, pp. 124, 125.

Digitized by Google

mondo è resa possibile, e quindi compie l'ulteriore ed intieramente non garantito passo di sostenere che la materia può non avere una reale esistenza, e che il mondo esterno non ha altra realtà fuorchè la sua rappresentazione nella di lui coscienza. Il materialista schietto, d'altra parte, sostiene che moto e materia sono le sole realtà, e che la mente non ha una esistenza indipendente da quella sua propria — una conclusione ancor maggiormente anti-filosofica. La posizione puramente idealista potrebbe servire come una ipotesi operativa per un filosofo che non fosse giammai stato, entro i limiti della sua memoria, in comunicazione con altre menti, poichè alcuni dei più forti argomenti contro l'esistenza della materia sono egualmente potenti contro l'esistenza di altre menti. La posizione materialista mi sembra essere viziata sin dalle origini sue col suo rifiutare di ammettere che la sola immediata ed assolutamente certa conoscenza possibile per noi si è quella dei nostri proprii stati di coscienza. La nostra conoscenza della materia, ed in generale del mondo esterno, compresi i nostri propri corpi, è, secondo il mio divisamento, una conoscenza necessariamente mediata consistente intieramente nelle nostre interpretazioni di questi stati di coscienza. Questo è molto chiaramente spiegato da Huxley nel suo discorso intorno a Descartes (1).

Riferendosi a Descartes egli osserva: « Come insegna a noi il ricordo del di lui progresso, egli era obbligato di confessare che la vita è piena di delusioni: che l'autorità può errare; che la testimonianza può essere falsa o sbagliata; che la ragione ci adduce a fallacie sconfinate; che la memoria è spesso altrettanto poco degna di fede quanto lo è la speranza; che l'evidenza dei puri sensi può essere mal interpretata; che i sogni sono reali per tutto il tempo che essi durano, e che ciò che noi nomiamo realtà può essere un lungo sogno senza riposo. Anzi, egli è concepibile che qualche possente e malizioso ente possa trovar piacere nel deluderci, e nel farci credere ciò che non è, in ciascun istante della nostra vita. Qual cosa è quindi certa? Qual cosa infine, se un tale ente esiste, può essere oltre il giungere dei suoi poteri di delusione? — Perchè il fatto si è che il pensiero, la coscienza presente, esiste. I nostri pensieri possono essere ingannevoli, ma essi non possono essere finzioni.

(1) *Lay Sermons*, p. 283.

Digitized by Google

Come pensieri, essi sono reali ed esistenti, ed il più abile ingannatore non può fare che essi siano altrimenti.

« Allora, pensiero è esistenza. Più di quello, per tutto quanto ci riguarda, esistenza è pensiero, tutte le nostre concezioni dell'esistenza essendo qualche sorta od altra di pensiero. Non supponete per un momento che queste siano meri paradossi o sottigliezze. Un po' di riflessione sopra i fatti i più comuni provano che le sono irrefragabili verità. Per esempio, io prendo un marmo, ed io trovo che esso è un solo corpo rosso, rotondo e duro. Noi diciamo che questo color rosso, questa rotondità, questa durezza, questa unità, sono « qualità » del marmo, ed appare, a primo aspetto, essere il colmo dell'assurdità dire che tutte queste qualità sono modi della nostra propria coscienza, che non può giammai esser concepita come esistente nel marmo. Ma consideriamo il color rosso, per cominciare. Come destasi la sensazione del rosso? Le onde di una certa materia molto tenue (questa era la concezione d'allora dell'etere) le di cui particelle stanno vibrando con grande rapidità, ma con differenti velocità, urtano sul marmo, e quelle che vibrano con una particolare velocità sono respinte dalla sua superficie in tutte le direzioni. L'apparato ottico del nostro occhio ne raccoglie insieme alcune di esse, e concede loro un tal passo che esse impingono sulla superficie della retina, che è un organo oltremodo sensibile, connesso colle terminazioni delle fibre del nervo ottico. Gli impulsi della materia tenue, o etere, impressionano quest'apparato e le fibre del nervo ottico in un certo modo, e le variazioni delle fibre del nervo ottico producono ancora altre variazioni nel cervello; e queste, in una foggia a noi sconosciuta, danno origine alla sensazione o coscienza del rosso. Se il marmo potesse rimanere inalterato, e, sia il rapporto di vibrazioni dell'etere, sia la natura della retina potessero essere alterati, il marmo sembrerebbe non rosso, ma di qualche altro colore. Vi sono parecchie persone che sono ciò che vien detto ciechi pel colore, essendo incapaci di distinguere un colore da un altro. Un tale potrebbe dichiarare che il nostro marmo è verde; ed egli avrebbe perfettamente ragione nel dire che quello è verde, quanta ne abbiam noi nel dichiararlo rosso. Ma poichè il marmo non può, per virtù propria, essere ad un tempo e verde e rosso, questo dimostra che la qualità della « colorazione rossa » deve risiedere nella nostra coscienza e non nel marmo.

« In modo consimile è agevole di vedere che la rotondità e la durezza sono forme della coscienza nostra, appartenenti ai gruppi che noi

Digitized by Google

chiamiamo sensazioni della vista e del tatto. Se la superficie della cornea fosse cilindrica, noi avremmo una nozione di un corpo rotondo ben diversa da quella che ora noi possediamo; e se la resistenza della struttura, e la forza muscolare del corpo, fossero centuplicate, il nostro marmo ci sembrerebbe essere altrettanto morbido quanto una pallottola di mollica di pane.

« Non soltanto egli è ovvio che tutte queste qualità sono in noi, ma, se voi ne farete il tentativo, voi troverete affatto impossibile il concepire una «colorazione azzurra» una «rotondità» ed una «durezza» senza riferirsi a qualche simile coscienza come la nostra propria. Può sembrare strano a dirsi che persino l'«*unicità*» del marmo è relativa a noi; ma esperimenti estremamente semplici dimostreranno che tal è veramente il caso, e che i nostri due sensi i più degni di fiducia possono essere fatti per contraddirsi l'un coll'altro precisamente su questo punto. Tenete il marmo tra il pollice e l'indice e guardatelo nel modo consueto. La vista ed il tatto s'accordano nel trovarlo unico. Ora guardatelo bieco, e la vista vi dirà che vi sono due marmi, mentre il tatto asserisce che ve n'è uno soltanto. Dopo di ciò, ritraete gli occhi nella loro naturale posizione, e tenendo l'indice ed il dito medio incrociati, ponete il marmo tra le loro estremità. Allora il tatto vi dichiarerà che vi sono due marmi, mentre la vista dice che ve n'è uno soltanto; ed il tatto esige che a lui crediate, quando noi badiamo ad esso, appunto come altrettanto imperiosamente fa la vista.

« Ma si può dire che il marmo occupa un certo spazio che non può essere occupato nello stesso tempo da veruna altra cosa. In altre parole, il marmo ha la qualità primaria della materia: l'estensione. Sicuramente questa qualità deve essere nella cosa, e non nelle menti nostre? Ma la replica deve ancora essere: checchè possa o non possa esistere nella cosa, tutto ciò che noi conosciamo di queste qualità è uno stato di coscienza. Ciò che noi nomiamo estensione è una conoscenza di una relazione tra due o più impressioni dei sensi, della vista o del tatto. Ed egli è intieramente inconcepibile che ciò che noi denominiamo estensione debba esistere indipendentemente da una simile coscienza come la nostra propria. Se, non ostante questa inconcepibilità, essa così esista oppure no, è un punto sul quale io non profferisco opinione.

« Quindi, checchè il nostro marmo possa essere in se stesso, tutto ciò che noi possiamo conoscere di esso sta nella forma di un fastello delle nostre proprie conoscenze....., delle quali siamo coscienti.

Digitized by Google

« E non vi è nostra nozione di ciascuna cosa che noi conosciamo o sentiamo più o meno che una nozione di stati di coscienza. La nostra vita intiera è costrutta sopra tali stati. Alcuni di questi stati noi riferiamo ad una causa che noi denominiamo « personale »; altri ad una causa od a cause che possono essere comprese sotto il titolo di « non personali ». Ma nè dell'esistenza « personale » nè di quella «impersonale» noi abbiamo, nè possiamo noi per qualsiasi possibilità avere qualsiasi certezza, fuor di questione ed immediata, tal quale noi l'abbiamo degli stati di coscienza che noi consideriamo essere effetti loro. Essi non sono dei fatti osservati immediatamente, ma i risultati dell'applicazione della legge di causalità a quei fatti. Strettamente parlando, l'esistenza di un « personale » e di un « impersonale » sono ipotesi mediante le quali noi spieghiamo i fatti di coscienza. Essi vanno di pari passo colla credenza nella generale fiducia nella memoria, e nella costanza generale dell'ordine di natura — come assunzioni ipotetiche le quali non possono essere provate o conosciute col più alto grado di certezza, che è dato dall'immediata coscienza; ma che, nondimeno, sono del più alto valore pratico, inquantochè le conclusioni logicamente tratte da esse sono sempre verificate dall'esperienza ».

Di nuovo, a pag. 286: « Descartes, avendo cominciato col dichiarare il dubbio un dovere, trovò la certezza nella sola coscienza; e la necessaria conseguenza delle di lui vedute si è ciò che può propriamente essere denominato Idealismo; cioè qualunque possa essere l'universo, tutto ciò che di esso noi conosciamo si è il quadro che ce ne presenta la coscienza. Questo quadro può essere un'apparenza veritiera — sebbene come questo possa essere è inconcepibile; o questo può avere non maggior rassomiglianza alla sua causa di quanto una delle fughe di Bach ne abbia colla persona che la sta eseguendo; o di quanto una poesia ne abbia colla bocca e colle labbra di chi la declama. È sufficiente per tutti quegli scopi pratici dell'esistenza umana se noi troviamo che la nostra fiducia nelle rappresentazioni della coscienza è verificata dai risultati; e che, mercè l'assistenza loro, noi siamo posti in grado di « camminare con passo sicuro in questa vita ».

« Quindi il metodo, o sentiero che conduce alla verità, indicato da Descartes, ci porta direttamente all'Idealismo critico del di lui gran successore Kant. Gli è quell'Idealismo il quale dichiara che l'ultimissimo fatto di ogni nozione è una conoscenza, oppure, in altre parole, è un fenomeno mentale: ed afferma quindi la più alta di tutte le cer-

Digitized by Google

lezze, e veramente la sola certezza assoluta, esservi l'esistenza di una mente. Ma è pure quell'Idealismo il quale rifiuta di fare qualsiasi asserzione, vuoi positiva vuoi negativa, circa a quanto sta al di fuori della coscienza. Esso accusa l'accorto Berkeley di camminare oltre ai limiti della cognizione, quando egli ha dichiarato che una sostanza della materia non esiste; e lo accusa di illogicità nel non scorgere che gli argomenti, i quali egli suppose avessero demolito l'esistenza della materia, erano ugualmente distruttivi per l'esistenza dell'anima ».

E nuovamente a pag. 287: « La strada indicata e seguita da Descartes, la quale noi abbiamo sin qui calcata, adduce attraverso al dubbio a quell'Idealismo critico, che sta nel cuore del moderno pensiero metafisico. Ma il *Discourse* ci addita un altro, ed apparentemente molto diverso, sentiero, che conduce, affatto quasi definitivamente, a quella correlazione di tutti i fenomeni dell'universo colla materia e col moto, che sta nel cuore del moderno pensiero fisico, e che molta gente denomina Materialismo ».

Dopo di aver indicato l'opera buona compiuta dai Materialisti nell'applicare i concetti della meccanica e della fisica molecolare alla spiegazione della fisiologia dei corpi viventi, Huxley osserva a pag. 296: « Quando i Materialisti sconfinano oltre i margini del loro sentiero e cominciano a discorrere intorno all'esservi null'altro nell'universo fuor che Materia e Forza, e Leggi necessarie, e tutto il resto della loro « riserva », io declino l'invito di tener loro dietro »... « La Materia e la Forza sono, per quanto noi sappiamo, semplici nomi per certe forme di coscienza. « Necessario », significa che noi non possiamo concepire il contrario di quello. « Legge » significa una regola che noi abbiamo sempre trovato essere ben salda, e che noi ci aspettiamo abbia da rimanere immutata. Quindi è una indispensabile verità che quanto noi nomiamo il mondo materiale sia soltanto conosciuto a noi sotto le forme del mondo ideale; e, come ci dice Descartes, la nostra nozione dell'anima è più intima e più certa che la nostra nozione del corpo. Se io dico che l'impenetrabilità è una proprietà della materia, tutto ciò che io posso realmente significare si è che la conoscenza a cui dò nome di estensione, e la conoscenza che io denomino resistenza, si accompagnano costantemente l'una coll'altra. Perchè e come vi sia tal relazione tra di esse, è un mistero. E se io dico che quel pensiero è una proprietà della materia, tutto ciò che io posso significare si è che, realmente o possibilmente, la conoscenza di estensione e quella di resistenza

Digitized by Google

accompagnano tutte le altre sorta di conoscenze. Ma, come nel primo caso, perchè esse sono così associate in un mistero insolubile.

« Da tutto questo consegue che quanto io posso definire materialismo legittimo, che è, l'estensione delle concezioni e dei metodi della scienza fisica ai più elevati altrettanto quanto ai più bassi fenomeni di vitalità, è nè più nè meno che una sorta di Idealismo stenografico; e che le due strade di Descartes conducono alla sommità della montagna, sebbene situate su opposti fianchi di essa.

« La riconciliazione della fisica e della metafisica sta nel riconoscimento di errori da entrambo i lati: nella confessione dei fisici che tutti i fenomeni di natura sono, nella ultimissima analisi loro, a noi noti solamente quali fatti di coscienza: nell'ammessione da parte dei metafisici che i fatti di coscienza sono, praticamente, interpretabili solamente coi metodi e colle formole dei fisici; e finalmente nell'osservanza di entrambi i generi di pensatori, fisici e metafisici, della massima di Descartes: « Non consentire ad alcuna proposizione di cui la materia non sia così chiara e distinta da non essere posta in dubbio ».

Ai primi albori della coscienza in un fanciullo, sia che questo avvenga prima della nascita, sia che avvenga dopo, suppongasi quando esso per la prima volta apre i suoi occhi sul mondo, esso non può conoscere cosa alcuna eccettochè il suo stato di coscienza in quel momento. Prestissimo esso comincia ad avere, inoltre, la memoria degli stati di coscienza attraverso a cui esso è passato; esso diverrà conscio del desiderio e della volontà, e le memorie degli stati anteriori di sua coscienza si edificheranno gradualmente in un sistema più o meno ordinato, ed esso comincerà ad acquistare una nozione del mondo esterno molto tempo prima di essere capace di fare una distinzione tra il personale e l'impersonale. Quelle prime esperienze sono completamente dimenticate molto tempo prima che sia raggiunta l'età della ragione, e con ciò anche il potere di fare una distinzione tra quelle due entità. Uno stadio intellettuale moltissimo più alto deve essere raggiunto prima che noi possiamo cominciare ad interrogare la nostra coscienza circa il terreno su cui questa distinzione può essere fatta. Quando noi facciamo questo, noi vediamo che è impossibile di ricercare l'esistenza di se stessi. Teoricamente noi possiamo ricercare l'esistenza del mondo impersonale ossia esterno; vale a dire che ciascun di noi può rivolgere a sè stesso la quistione: Sono io tutto, oppure esiste qualche cosa all'infuori di me stesso? Già vi è tuttavia la risposta

Digitized by Google

a tal questione, non appena essa è formolata, poichè le limitazioni del potere di se stesso nell'ordinare i suoi proprii stati di coscienza costringono a credere in qualche cosa al di fuori di se stessi e sottoposto a condizioni concordanti. Noi possiamo sostenere, con il puro Idealista, che non vi è un mondo esterno materiale, ma noi siamo allora costretti ad ammettere l'esistenza di un potere esterno che ordina i nostri stati di coscienza, come se vi fosse un mondo esterno. Vale a dire, nel tentare di evitare l'ipotesi direttamente presentata dalla coscienza come l'interpretazione dei suoi stati, noi ve la introduciamo di nuovo sotto un'altra forma. Devesi sempre tenere a mente che le cognizioni scientifiche consistono nello stabilire relazioni tra i fenomeni presentati dalla nostra coscienza. L'intiera tendenza del progresso in tali cognizioni è verso l'unificazione completa di tutti i fenomeni quali manifestazioni di una realtà sottoposta e finale che i filosofi chiamano l'Assoluto. Tutto ciò che noi possiamo sempremai concepibilmente imparare rispetto a questo è la natura delle sue manifestazioni quali sono presentate alla nostra coscienza. Quanto alla realtà fenomenale, quindi, l'esistenza di un mondo esterno a noi stessi non può essere posta in quistione. Ora questo mondo esterno presenta se stesso in una certa relazione ordinata coi nostri stati di coscienza. Noi usualmente interpretiamo questo col dire che ciò influisce sui nostri stati di coscienza, e che questi, quando essi prendono la forma di volontà, hanno, a loro volta, il potere di influenzare il mondo esterno.

La scienza della fisica (1), compresa in essa la fisiologia, o fisica della materia vivente, ci conduce alla conclusione che tutte le variazioni nella coscienza sono accompagnate da variazioni nella materia grigia del cervello; e che certe variazioni, nella materia grigia di talune parti del cervello sono, reciprocamente, in condizioni normali, invariabilmente accompagnate da variazioni della coscienza. In tutti i casi osservati della concomitanza di fenomeni conscii e materiali, la scienza fisica ci ha posti in grado di spiegare con maggiore o minore pienezza tutti gli stadii della relazione eccettochè tra le variazioni del cervello

(1) Sarà opportuno ricordare che l'Inglese adopera il vocabolo *fisica* in un senso molto più lato di quello comunemente inteso in Italia, estendendolo alla conoscenza di tutto il mondo fisico; e così essi denominano *physician* la persona che cura il corpo umano. E non diciamo noi forse *il nostro fisico*? (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

e quelle nella coscienza. Se questo stadio potesse essere spiegato, noi giungeremmo ad una soluzione del problema della relazione tra mente e materia. Io adoprerò il termine mente per denotare l'entità che forma la base di tutti i fenomeni di coscienza nell'uomo e nei più alti animali, e di tutte quelle azioni deliberate che forniscono i mezzi tanto alle più basse quanto alle più alte forme organiche di modificare le relazioni tra loro stesse e quanto le attornia nel mondo materiale. Questo potere di modificazione è il criterio di vita, che è definita da Herbert Spencer come una capacità per « il continuo adattamento delle relazioni interne a quelle esterne » (1). Tre distinte ipotesi sono state proposte dai psicologi per la rappresentazione delle corrispondenze osservate dei fenomeni mentale e materiale. Presume la prima una relazione mutua causale tra le due classi, cosicchè i fenomeni di ciascheduna possono essere considerati come producenti direttamente i fenomeni dell'altra. La seconda ammette un'azione dal mondo esterno sopra la coscienza, ma nega ogni azione reciproca di coscienza sopra il mondo esterno. La terza sostiene che le due serie di fenomeni sono puramente concomitanti, senza affatto qualsiasi relazione causale. La prima ipotesi è quella suggerita dai fatti della coscienza, ed è quella che regola le azioni di ciascun essere umano ragionevole, quand'anche egli dia un consenso teorico ad una delle altre due. La seconda e la terza rappresentano la coscienza di un uomo o di un animale come rassomigliante ad uno specchio in cui il mondo esterno è dipinto, ma che non ha il potere d'influenzare la natura o la successione dei quadri. La differenza tra la seconda e la terza si è che, secondo la prima, i quadri sono prodotti da un'azione causale del materiale ambiente, mentre, secondo l'ultima, essi provengono da altre, e non spiegate fonti. Entrambe queste ipotesi fanno la coscienza di ciascun uomo ed animale incapace di esercitare qualsiasi attività nell'universo, e sono, per tal ragione, opposte alla tendenza della scienza fisica verso la correlazione di tutti i fenomeni entro un'unità che tutto abbraccia. Inoltre, nel riportare una rappresentazione di alcuni dei fatti di coscienza, essi non riescono affatto a spiegare il senso di possedere una potenza di volontaria azione, di selezione tra le varie alternative, che si presenta nella coscienza di ciascuno di noi. Se noi fossimo limitati a queste tre alternative, noi

(1) *Principles of Biology*, vol. I, p. 74.

Digitized by Google

saremmo, tuttavia, condotti a preferire la prima come quella sola che è in accordo completo con i fatti osservati. Essa ha inoltre in più il vantaggio di non essere in alcuna guisa incompatibile coll'unità della natura, indicata dagli schemi, meccanico e molecolare.

Un maggiormente fondamentale, e di gran lunga più soddisfacente, metodo di attacco, è di seguire lo stesso corso che ci ha condotti alla soluzione di cotanti problemi apparentemente insolubili, negli schemi meccanico e molecolare. Ogni qualvolta che noi abbiamo tentato di porre in relazione le due serie di fenomeni fisici, perfino quando la relazione tra di esse è tanto intima quanto ovvia, noi abbiamo trovato che soltanto una correlazione molto imperfetta potrebbe essere effettuata, coll'isolare le due serie, e considerarle come connesse da una relazione causale diretta indipendente dal restante del di cui complesso esse fanno parte. D'altro lato noi abbiamo sempre trovato al di là dei nostri poteri il dar l'assalto al problema immediatamente in tutte le sue generalità. La diretta contemplazione del Tutto ci schiaccia colla sua immensità. Noi abbiamo trovato che la sola strada per riuscire sta nella costruzione di successivi modelli operativi, di complessità gradualmente crescente, man mano che parti più larghe del Tutto vengono portate entro i limiti della loro giurisdizione; ma la correlazione completa delle serie, anche le più semplici, può soltanto essere oscuramente percepita dall'occhio della fede scientifica, non altrimenti della visione dei contorni di un picco attorniato da nubi, al quale noi andiamo sempre più approssimandoci, sebbene la sua sommità debba pur sempre rimanere a noi inaccessibile.

Quando il problema della relazione tra mente e materia viene trattato in questo modo, noi riconosciamo che la prima ipotesi, che è il postulato dell'intima relazione mutua tra di quelle, è il passo necessario verso l'arrivo ad una prima approssimazione. La completa correlazione finale, come nel caso di fenomeni degli schemi meccanico e molecolare, richiederebbe i poteri della mente universale perchè venissero completamente afferrati, e tutto il progresso nostro nella generalizzazione fisica può essere considerato come tentativi — e deboli tentativi ossi avranno sempre da essere — di approssimazione verso il punto di vista della mente universale, da cui tutto si abbraccia e tutto si comprende.

Questo metodo di considerare il problema appare a me gettare una luce intieramente nuova su quella difficoltà fondamentalmente filosofica, cioè: la quistione del libero arbitrio o del determinismo della

Digitized by Google

volontà. In uno schema mentale determinato da una intieramente saggia ed intieramente presciente mente universale, non vi è posto per la libera azione, senza vincoli di sorta, di indipendenti unità di mente. D'altra parte non vi è un fatto di coscienza con maggior certezza riconosciuto per vero di quanto lo sia la convinzione che vi è una certa libertà di scelta aperta a ciascheduna unità individuale di volontà. Noi abbiamo veduto che vi è ogni ragione di credere che lo schema meccanico sia completamente determinato dallo schema molecolare; vale a dire, che per una intelligenza capace di afferrare quest'ultimo nella sua totalità, il primo sarebbe unicamente determinato. Noi abbiamo pure veduto che non vi è determinatezza nell'altra direzione, nella quale ciascuna rappresentazione molecolare di un fenomeno meccanico, dimostrato possibile, implica la possibilità di un infinito numero di altri. La nostra presente conoscenza fisica quindi non solamente ammette la coesistenza di un completo libero arbitrio relativamente allo schema molecolare, ma la suggerisce, e con tutto il suo completo determinismo in termini dello schema mentale. Un'altra considerazione che ci può essere d'aiuto nell'intendere questo punto di vista, si è che ciascuna unità individuale di mente deve essere considerata come una pura differenziazione o conseguenza della mente universale, e come connessa, per mezzo di quest'ultima, con ciascun'altra unità, appunto come ciascun atomo materiale individuale è un semplice differenziazione di una parte dell'etere, ed è connessa per mezzo di quest'ultimo con ciascun altro atomo.

Quindi non appare antecedentemente improbabile che la più altamente sviluppata tra queste unità fosse conscia di partecipare dell'attività dell'unità maggiore di cui esse formano una parte, ed allo stesso tempo, non pienamente conscia della restrizione necessaria involta in tale incorporazione.

Noi ora vediamo che una prima approssimazione alla soluzione della completa azione reciproca tra la mente ed il suo materiale ambiente circostante, se pur del tutto raggiungibile, dev'essere ricercata nella azione reciproca tra una mente umana individuale e ciò che l'attornia immediatamente da vicino, cioè la sostanza grigia del cervello dell'individuo, entrambi, mente e cervello, essendo considerati quali unità indipendenti, vale a dire, senza considerare le loro rispettive relazioni colla mente universale e coll'ambiente materiale circostante. Questo

Digitized by Google

è il punto di partenza, secondo l'ipotesi operativa della mente universale, per le investigazioni tanto dei fisiologi quanto dei psicologi. I primi hanno pienamente stabilita la corrispondenza, di già riferita, tra le variazioni nella coscienza e le variazioni fisiche nella sostanza grigia del cervello, e noi abbiamo veduto che noi abbiamo diritto di considerare, come una prima approssimazione, questa corrispondenza come sorgente da una azione reciproca tra la mente individuale ed il cervello individuale; vale a dire la corrispondenza può essere considerata come tale da stabilire l'esistenza di un'azione reciproca tra la mente e la materia. La prima (la mente) è un'entità della quale noi non siamo capaci neppure a tentare una ulteriore analisi in vista della sua semplificazione, ma questo non è il caso colla materia. Secondo il modo di vedere presentato in questo volume, gli atomi della materia consistono di aggregati di elettroni, i quali sono essi stessi semplicemente delle forme di sforzi nell'etere, Gli atomi materiali sono quindi semplicemente delle differenziazioni di parti dell'etere originale privo di forma provenienti da certe distribuzioni di moto, per parlare in termini di analogia materiale, oppure, in termini più generali od astratti, certe configurazioni di energia. L'ultimissima base della materia, per quanto essa per qualche verso accessibile all'osservazione, è l'etere senza forma, nel quale ancora non esistono forme di sforzi, ma nel quale è infusa una energia d'attorcigliamento in ciascuna più piccola parte in cui noi potressimo concepire che esso possa essere diviso, mediante il più grande sforzo della nostra immaginazione. Vale a dire, l'etere il quale, sebbene ancora senza forma, è preparato per la formazione di forme di sforzi, tostochè il necessario potere formativo entrerà in azione. Nello stato senza forma l'energia di torsione costituisce una distribuzione di volume uniforme, o spaziale.

Facciamo ora coll'immaginazione quell'ulteriore passo concepibile, e supponiamo che questa distribuzione di energia, di volume uniforme, sia eliminata. Nulla può allora restare salvochè un etere in assoluta quiete non contenente energia. Egli è per noi impossibile di formarci un qualche concetto di tale sostanza, perchè essa non avrebbe delle proprietà mediante le quali la sua presenza ci diverrebbe nota, poichè tali proprietà le provengono intieramente dalla distribuzione d'energia. Questa sostanza non ha quindi un'esistenza fenomenale; se essa esista, o no, nel senso metafisico, come un veicolo per portare energia, noi non abbiamo mezzi per determinarlo, perchè ciò non può aver parte

Digitized by Google

in veruno dei fenomeni materiali, i quali tutti sono dovuti a variazioni della distribuzione di energia. Adunque, tutti i fenomeni dell'universo materiale possono essere considerati come derivanti unicamente da variazioni nella distribuzione di energia. Vale a dire l'energia è la sola ultimissima base fenomenale della materia.

Noi abbiam veduto nel Capo XV che dal punto di vista dello schema molecolare, il principio della conservazione di energia è stato privato della sua posizione dominante di principio fondamentale, la quale posizione esso appariva occupare nello schema meccanico. Dal presente punto di vista ancora più fondamentale, esso presuppone una posizione anche maggiormente dominante che non nello schema meccanico, dacchè l'energia totale di un sistema dinamico è ora veduta formare il suo solo essenziale e definitivo contenuto, che può soltanto essere alterato coll'aggiungere a quel contenuto o col sottrarre da esso. Il principio della sua conservazione, quindi, si presenta come l'ultimissima legge fondamentale di tutti i fenomeni materiali.

Dacchè, dal punto di vista fenomenale ad ogni modo, l'energia è la sola ultimissima base della materia, ne segue che tutte le azioni reciproche tra mente e materia possono trovare la loro espressione ultimissima nella forma di azioni reciproche tra mente e materia. La correlazione osservata tra i fenomeni mentali e quelli materiali, dimostra quindi definitivamente il potere della mente umana e delle menti di altri esseri viventi, nell'influenzare le variazioni della distribuzione di energia nel loro ambiente materiale circostante, e nell'esserne reciprocamente influenzate.

Ora, data la totale energia di ogni sistema materiale, quand'anche fosse tal sistema l'intero universo materiale, il costrurre un tal sistema da una iniziale distribuzione della sua energia, ed il trasformarlo in ogni altro sistema possibile collo stesso contenuto di energia totale, richiede solamente questo potere di influenzare la distribuzione della sua energia, combinato coll'intelletto necessario per questa sua direzione appropriata ed intesa a tale scopo. La formazione dell'universo esistente materiale, insieme coll'istituzione e la conservazione di tutte le leggi fisiche conosciute, può quindi essere spiegata coll'ipotesi della mente universale, coll'attribuire a quella mente il possesso di poteri che differiscono soltanto in grado, e non in genere, dai poteri osservati degli esseri viventi, assieme coll'intelligenza adeguata per tale uso deliberato. Se noi tentiamo di paragonare l'intelligenza rudimentale

Digitized by Google

dimostrata dalle primissime e più basse forme organiche con le menti umane le più altamente sviluppate, considerando quelle prime come forme embrionali di quest'ultima, e poi ci raffiguriamo a noi stessi l'intelligenza combinata della razza umana e delle altre forme viventi solamente come una rappresentazione embrionale dell'intelligenza della mente universale, noi possiamo formarci almeno una pallida idea approssimantesi ad un concetto dell'intelligenza che dev'essere attribuita alla mente universale. Nel far così noi non ci siamo inoltre fuorviati dai sentieri fisici legittimi delle deduzioni dai fatti osservati. La conclusione che un potere, intelligentemente diretto, di influenzare la distribuzione dell'energia è, dietro le presenti vedute scientifiche circa la natura della materia, sufficiente per spiegare tutti i fenomeni materiali, e che l'attribuzione di questo potere all'intelligenza primaria, è una legittima conseguenza dell'osservazione, altrettanto conferma quanto estende (ed è inoltre confermato da essa) la dimostrazione di Maxwell della possibilità di una simile azione direttiva in un caso speciale.

Se delle forme organiche siano capaci di effettuare la trasformazione, considerata da Maxwell, di una energia inutile in una utile, è ancora oggidì una quistione non risolta. La seconda delle tre seguenti conclusioni riferentisi alla dissipazione dell'energia, formulate da Lord Kelvin in una breve nota nell'anno 1852 (1), esprimeva l'opinione che tali forme, capaci di tanto, non esistessero:

1. « Vi è attualmente nel mondo materiale una tendenza universale alla dissipazione dell'energia meccanica.

2. « Ogni *restaurazione* di energia meccanica, senza una dissipazione più che equivalente, è impossibile mediante i processi materiali inanimati, e non è probabilmente mai effettuata per mezzo della materia organizzata, sia essa dotata di vita vegetale o sia essa soggetta al volere di una creatura animata.

3. « Entro un periodo finito del tempo passato, la terra deve essere stata, ed entro un periodo finito di tempo avvenire, la terra dovrà di nuovo essere, impropria ad essere abitazione dell'uomo, quale esso è presentemente costituito, ammenochè vi siano state compiute ope-

(1) *Mathematical and Physical Papers*, vol. I, p. 514.

Digitized by Google

razioni od abbiano esse da compiersi, le quali sono impossibili sotto le leggi a cui vanno soggette le operazioni conosciute che hanno luogo presentemente nel mondo materiale ».

Secondo sir Joseph Larmor (1), Lord Kelvin ancora riteneva, nel 1892, l'opinione recisa espressa nella seconda nota sulla quistione: « se i perfezionamenti della struttura minuta e l'adattamento degli organismi vitali possono permettere una eccezione dalla legge di dissipazione, che è nota essere intessibile nel mondo inorganico, coll'utilizzare alquanto abbondantemente l'energia termale diffusa per la produzione del potere meccanico vitale ».

Helmholtz verso il termine della sua vita preferiva lasciare insoluta tale quistione, come è dimostrato da un passaggio delle sue *Conferenze sul calore*, le quali furono pubblicate dopo la di lui morte. È tal quistione di grande interesse, ma la natura della risposta non ha importanza fondamentale, circa all'argomento presente.

Potrebbe sembrare un'estensione naturale delle conclusioni, a cui noi siamo stati addotti, l'attribuire alla mente universale il potere di creare, vale a dire, di fare esistere l'energia dell'universo, oltre al potere di variarne la distribuzione. Io non conosco peraltro una qualche base fisica per poggiarvi su tale estensione. Una simile base sarebbe trovata se fosse dimostrato che ogni organismo possedesse il potere di creare dell'energia, ma ogni evidenza presentemente utile tende alla conclusione che organismi viventi non possono nè creare nè distruggere energia, sebbene essi possano effettuare delle variazioni nella sua distribuzione. È perfettamente ragionevole il supporre che la mente universale possa avere ulteriori poteri oltre a quelli di cui ci danno esempio le menti accessibili alla nostra osservazione, ma la quistione dell'esistenza di tali poteri è essenzialmente al di fuori dei limiti della indagine fisica.

La riduzione qui effettuata della relazione tra mente e materia ad una relazione tra mente ed energia non spiega la natura della relazione, che tuttora rimane come un mistero apparentemente inscrutabile, poichè noi non possiamo presentemente formarci un modo di conce-

---

(1) *Obituary Notice of Lord Kelvin, Roy. Soc. Proc.*, A, vol. LXXXI, p. XXXVI, 1908.

Digitized by Google

pire la natura del processo mediante il quale la mente effettua dei cambiamenti nella distribuzione di energia, oppure diventa sensibile a questi. Ciò che è stato provato si è che gli effetti osservati nel mondo materiale, di attività conscie ed inconscie di organismi viventi, si possono esprimere in termini di cambiamenti nella distribuzione di energia, e che il potere di effettuare simili cambiamenti sopra una scala sufficientemente estesa è tutto ciò che è richiesto per spiegare la formazione dell'universo materiale da qualche distribuzione iniziale della sua energia totale, e per stabilire tutte le leggi conosciute o condizioni sotto le quali esso ora esiste. Il termine *mente* è stato impiegato per designare la base dell'attività osservata, nel caso di organismi viventi, mentre la base dell'attività estesa, richiesta per spiegare l'ordine materiale della natura, è stata denominata la mente universale. Dacchè il concetto della mente universale non contiene caratteristiche differenti in genere da quelle osservate nel caso dell'uomo e di altri organismi viventi, esso è un concetto puramente scientifico derivato da una legittima conseguenza dei fatti osservati, ed esso è stato riconosciuto adeguato per la spiegazione dei fenomeni osservati. Io quindi non lo considererò più oltre come un'ipotesi operativa, ma come una teoria scientifica stabilita che può soltanto essere discussa colla presentazione di una teoria scientifica alternativa egualmente capace di spiegare i fatti osservati. Fino ad ora una simile teoria non è ancora stata proposta.

Adesso io procederò a dimostrare che la teoria della mente universale spiega l'origine della vita, rispetto alla quale Lord Kelvin ha dichiarato (*Nineteenth Century and After*, June 1903): « Io non posso dire, riguardo all'origine della vita, che la scienza affermi o neghi un potere creativo. La scienza afferma positivamente un potere creante e direttivo, che essa ci costringe ad accettare come un articolo di fede.

Innumerevoli tentativi sono stati fatti per dimostrare la possibilità dell'*abiogenesi*, ossia della trasformazione spontanea della sostanza non vivente in sostanza viva; ma ciascuno di quelli falli completamente, i soli successi apparenti essendo stati riconosciuti, da posteriore e più esatta indagine, di esser stati dovuti ad imperfezioni dei metodi sperimentali nell'impedire la completa esclusione di germi viventi dall'apparecchio impiegato.

Tyndall scriveva nel 1878: « Io affermo che non esiste nessun brano, degno di fede, di una testimonianza sperimentale atta a provare che

Digitized by Google

la vita, ai giorni nostri, sia mai apparsa indipendentemente da una vita antecedente » (1).

La di lui dichiarazione è ancora altrettanto indiscutibile come quando egli la scrisse, e la teoria della *biogenesi*, ossia derivazione di una vita soltanto da una vita antecedente, è adesso, come allora, la sola tollerata dall'evidenza sperimentale (2).

Il nostro presente modo di vedere non presuppone, tuttavia, l'impossibilità, e neppure l'improbabilità della scoperta delle condizioni colle quali avviene il cominciamento della vita, e tale scoperta non intaccherebbe in nessuna guisa l'argomento. Parecchi biologi hanno espressa l'opinione che l'abiogenesi deve essere avvenuta ad un qualche primitivo periodo della storia della terra, ma neppur un solo di essi ha addotto un sol bricciolo di evidenza in appoggio della sua opinione, e tali opinioni non sostenute sono di nessun valore scientifico qualsiasi. Vi esiste, quindi, altrettanto lungi quanto possa provarlo l'evidenza sperimentale, un muro ben definito di demarcazione tra sostanza non vivente e sostanza vivente. Questo non consiste in qualche differenza meccanica o molecolare nella natura della struttura materiale di organismi viventi da quella della materia inorganica, perchè tutte le leggi degli schemi, meccanico e molecolare, sono, come noi fra poco vedremo, assolutamente continui per tutta l'intera serie di generi di materia, non-vivente e vivente.

Noi vedremo che la distinzione consiste nella venuta di ciò che io ho denominato *mente*, e si vedrà che un potere rudimentale di adattamento all'ambiente circostante è una caratteristica perfino delle più basse forme di vita, ed è dimostrata ad un grado maggiormente elevato nelle più alte forme, tanto vegetali che animali. Inoltre, ciascun organismo vivente possiede il potere di riprodurre delle forme di vita consimili alle sue proprie; vale a dire, esso ha il potere di trasmettere loro la mente, od, in altre parole, di conferire il dono di una vita superiore alla materia previamente inanimata. Questo potere è caratteristico della sostanza vivente, vale a dire, della sostanza consistente di materia associata colla mente. Noi dobbiamo quindi aggiungere questo potere

(1) *Nineteenth Century*, p. 507, 1878.

(2) Per maggiori informazioni su quest'argomento vedere: EDWIN SHARPE GREW, *Lo sviluppo di un pianeta*, Capo X (Fratelli Bocca, Torino, 1914).

Digitized by Google

osservato di organismi viventi a quelli compresi nel concetto della mente universale, che è quindi il solo signore e datore di vita.

J. C. Bose ha dimostrato, in un'ampia serie di ricerche, che il rispondere all'eccitamento elettrico fornisce il più definito criterio, ed il più meritevole di fede, circa lo stato di vita oppure di morte di un animale o d'una pianta. Una pianta per esempio, che è stata esposta per un corto periodo ad una temperatura indebitamente bassa, potrebbe, per il momento, non dare segni esteriori del danno patito, ma se essa rifiutasi di rispondere all'eccitamento elettrico, essa comincierà certamente ad avvizzire in breve tempo, ed è di già scomparsa ogni speranza di farla rivivere; essa è realmente morta. L'eccitamento elettrico nelle piante dà origine a curve di rispondenza esattamente rassomiglianti a quelle ottenute dai muscoli degli animali, quando sono assoggettati a sforzi meccanici, e curve consimili possono essere ottenute da sostanze inorganiche, come polveri metalliche soggette a forze molecolari, mediante l'azione della radiazione elettrica, essendone la ragione che l'esistenza delle forze molecolari nelle sostanze inorganiche è dimostrata da cambiamenti nella conduttività elettrica. Le curve di rispondenza sono ottenute col prendere le deviazioni del galvanometro come ordinate, ed i tempi di esposizione, o di ricupero, come ascisse. Una delle sostanze le più convenevoli per le osservazioni da cui queste curve sono ottenute trovasi essere l'ossido di ferro magnetico leggermente riscaldato, poichè gli effetti, nel caso di questa sostanza, sono prodotti così lentamente da poterli registrare senza difficoltà, mentre il ricupero, in condizioni di temperatura normale, è rapido, e non vi sono reazioni chimiche secondarie. Vi è sempre un periodo latente tra lo stimolo ed il riflesso, il quale ultimo sorge ad un massimo dopo la cessazione dello stimolo, seguita da un rapido ricupero. Con alcune sostanze può essere osservata una tendenza di oscillazione posteriore, ma questa non può mai essere così notevole come nelle curve degli sforzi muscolari.

Quando un secondo stimolo è applicato, dopo di un altro di ammontare moderato, avviene una somma degli effetti; ma se il secondo stimolo tien dietro ad un altro abbastanza forte da produrre l'effetto massimo, non vi è un risultato ulteriore. Quando gli stimoli si susseguono con debole intermittenza, si ottiene una curva spezzata, esattamente simile a quelle corrispondenti muscolari; mentre, con intermittenze rapide, la curva diventa continua, come nello stato tetanico, o di rigidità del muscolo. Se il riflesso elettrico potesse essere preso come

Digitized by Google

il solo criterio di vita, tanto positivamente quanto negativamente, allora noi avremmo ragione di dire che un metallo può essere ucciso, come è dimostrato dal suo cessare di dare una curva di rispondenza, o che può essere anestetizzato, o parzialmente avvelenato, coll'esporlo a soluzioni di sostanze deleterie. In questi ultimi casi il riflesso è molto indebolito; ma, finchè esso non è completamente sparito, il metallo può essere ristorato al suo stato normale di salute mediante la somministrazione di un antidoto. Quando il riflesso è intieramente sparito, questo non è più ulteriormente possibile. Qui, tuttavia, l'analogia tra metalli, ed il *protoplasma*, o *base fisica della vita*, di un animale o di una pianta, cessa completamente. Il metallo morto può essere ritornato al suo stato normale mediante varii processi fisici o chimici, vale a dire molecolari; mentre, nel caso del protoplasma, questo richiamo può solamente essere effettuato mediante il suo assorbimento dalla sostanza di un animale o di una pianta. L'analogia tra i metalli e le forme organiche può essere ulteriormente illustrata dalla citazione seguente del capitolo d'introduzione dell'opera di Floris Osmond, *Microscopic analysis of metals*, tradotta ed edita da T. E. Stead: « I metalli non sono nè corpi semplici, nè sono dessi inerti (1). L'ultimissima analisi di una lega non ci dice come siano combinati tra di loro stessi gli elementi presenti, oppure se essi formino o dei composti isolati definiti, oppure soluzioni, omogenee o no. L'analisi di massima precisione, la quale, inoltre, non è spesso possibile nel presente stato della chimica, non ci insegna come i costituenti, supposti essere chimicamente separati, siano individualmente organizzati o distribuiti topograficamente, nel paragonarli l'uno coll'altro. L'organizzazione istologica e la distribuzione anatomica, supponendole a noi note, non ci mostrano a quali modificazioni sarebbe sottoposta la condizione attuale sotto l'influenza di certe variazioni di temperatura o di pressione. Finalmente, queste modificazioni normali, supponendole essere note a loro turno, potrebbero essere considerevolmente disturbate da una quantità infinite-

(1) Il vocabolo *Metals* non può essere tradotto altrimenti che colla parola *metalli*. La prima proposizione sarebbe quindi un'eresia scientifica, ove non si considerasse il termine *metalli* come un'espressione volgarmente generica, che, in molti idiomi, serve a designare piuttosto le leghe, abitualmente in uso, anzichè i metalli chimicamente puri, i quali sono rarissimamente usati. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

simale di qualche impurità estranea, talvolta inevitabile, e la sola presenza della quale è, alle volte, non sospettata.

« Allora noi siamo naturalmente condotti a stabilire nello studio dei metalli parecchie suddivisioni affatto analoghe a quelle della scienza medica, e di parlare di metallografia come anatomica (istologica), biologica, e patologica.

« La prima distingue e definisce i differenti costituenti di cui può consistere una lega, coll'osservare le loro caratteristiche ottiche, le loro caratteristiche chimiche, o le loro caratteristiche meccaniche, e descrive le loro forme, cristalline od altrimenti, misura le loro dimensioni assolute o relative, ed esamina i piani di minor resistenza che separano l'uno dall'altro o li attraversano ciascuno di essi separatamente.

« La seconda suddivisione si occupa di determinare in qual modo la composizione, la forma, le dimensioni, e le relazioni dei diversi costituenti determinate in uno stato fisso in un dato esemplare, sono connesse colle condizioni possibili di trattamento calorifico o meccanico, a cui la lega che si considera può esser sottoposta durante i procedimenti della sua lavorazione od impiego.

« La terza suddivisione tratta dell'influenza degli errori di trattamento e della presenza di impurità che costituiscono, qualora vi siano, una diatesi particolare.

« Nel tempo stesso, gli effetti, una volta connessi colle loro cause mediante uno studio preparatorio, ci concedono spesso di raggrupparli insieme nuovamente per la soluzione dei problemi presentati dal lavoro pratico ».

Un'altra analogia degna di nota tra forme organiche ed inorganiche è esibita dai cristalli, come può essere illustrato da una citazione estratta da un discorso presidenziale di R. A. Hadfield all'Istituto del Ferro e dell'Acciaio nel 1905, in cui egli osserva: « Il potere autoriparatore di un cristallo è simile a quello dell'essere umano. Un cristallo di allume leggermente scalfito, tuffato per un istante in una soluzione acquosa e satura di quel sale, completamente ripara le parti offese; e se la soluzione contiene altri sali sciolti in essa, il cristallo si ripara soltanto con allume, rifiutando di unirsi con altre sostanze, purchè esse non appartengano allo stesso sistema cristallino. Questo potere selettivo è simile a quello di un osso, muscolo, o nervo, ciascuno dei quali prenderà soltanto per se stesso dal sangue i suoi proprii ed appropriati ingredienti ».

Digitized by Google

Si potrebbero dare esempi innumerevoli della simulazione di forme vegetali mediante l'accrezione di particelle inorganiche, ma sarà sufficiente di citare questa sola, a tutti familiare, il delicato intreccio, simile a felci, così di sovente prodotto dal gelo sull'umidità dei vetri d'una finestra. Perfino la struttura colloide, o simile a gelatina, del protoplasma stesso trova il suo riscontro inorganico negli idro-fluosilicati. Non sarà necessario di illustrare ulteriormente quanto ogni ricerca fisiologica conferma — l'assoluta continuità di tutte le leggi note, meccaniche e molecolari, per tutta quanta la materia, tanto vivente quanto non vivente. Noi quindi possiamo procedere a considerare il punto prossimo, l'apparizione e lo sviluppo di un'azione deliberata, simultaneamente con l'apparizione e lo sviluppo di organismi viventi.

Alcuni biologi hanno supposto che avvenga una secrezione di un qualche cosa che noi possiamo dire *materia prima della mente*, per usare il termine del professor Clifford, cioè che questa sostanza si sviluppi nelle cellule cerebrali dell'uomo e degli animali. Tuttavia questo non spiega i fatti, neppure dal più ristretto punto di vista meramente biologico, poichè ciò non spiega la rudimentale intenzionalità osservata nelle primissime e meno sviluppate forme della vita vegetale ed animale. Altri biologi si sono ingegnati di superare questa difficoltà col presumere che la materia prima della mente sia formata in ciascuna cellula vivente, ed Haeckel denomina questa supposta secrezione l'anima cellulare, od atomica. Peraltro, perfino in questa forma l'ipotesi non spiega i fatti biologici. Quel più umile di tutti gli organismi riconosciuti viventi — in verità, noi a mala pena possiamo ritenerlo per un organismo — la Monera di già dimostra i segni di un'azione intenzionale, dimostra che qualche cosa della materia prima della mente deve essere associata colla singola cellula di cui essa consiste, il che necessariamente non significa sviluppata fuori di essa. Haeckel, il quale ha compiuto uno studio esauriente di questa prima forma di vita, ci dice che nella sua più semplice, e quindi, probabilmente, nella sua primissima forma, l'intiera creatura consiste di una singola cellula priva sia di nucleo, sia di tegumento, più semplice quindi di qualunque delle cellule costitutive di più elevati organismi, una pura massa globulare di sostanza viscliiosa (1). Perfino ancora una così umile creatura può essere mossa

(1) Sir Edwin Ray Lankester (*Kingdom of Man*, p. 118) ci dice che egli è propenso ad accettare la conclusione, alla quale pervennero alcuni

Digitized by Google

dallo stimolo della fame. Io non dico che essa possa sentirne lo stimolo, perchè noi non possiamo concepire nulla di approssimantesi neppure alla forma elementare di coscienza, che noi diciamo sensazione, in una forma di vita cotanto poco o nulla sviluppata; noi non possiamo nomarla nè animale nè pianta. Haeckel prende questo come punto di partenza da cui queste due forme di vita divergono. Quando, sospinta dalla fame, la Monera butta fuori protuberanze simili a tentacoli, e quando queste vengono a contatto con una particella di cibo (esse sono capaci di distinguere le particelle utili da quelle inutili), dei tentacoli minori sono fatti sporgere dai lati di quelli maggiori per modo da allacciare la particella in un reticolo di sostanza glutinosa, che tragga quella nell'interno dove essa viene gradatamente assorbita con un processo di soluzione, e non sì tosto che essa è tratta dentro, la creatura riassume la sua forma globulare.

Se una forma rudimentale di azione intenzionale è per tal modo esibita a quel semplice punto di partenza tra la vita animale e quella vegetale, noi dobbiamo aspettarci a trovarne qualche indicazione nelle più elevate forme delle piante, altrettanto quanto in quelle dei più elevati animali. È stato comunemente presunto che nulla di tal genere si possa osservare nella vita delle piante, ma io credo che alcuni almeno dei nostri principali botanici stanno per essere convertiti all'opinione che delle azioni intenzionali possano essere ritrovate nelle piante quanto negli animali. Per me, non mi è possibile concepire come altrimenti potremmo spiegare il modo col quale le radici di una pianta ricercheranno e troveranno luoghi dove siano presenti cibo utile oppure acqua. Le radici sembrano viaggiare direttamente verso a quelli, qualche volta da distanze di più metri, appunto come se la pianta conoscesse per qualche sottile istinto il posto esatto dove quello ha da essere ritrovato. Io potrei dare esempi in numero molto maggiori, ma le mie personali

---

degli ultimi scrittori di istologia, che l'evidenza dell'esistenza, oggidì, di un così semplice organismo è insufficiente, e che il più semplice di tutti gli organismi ora esistenti è una cellula nucleata. — Se egli ha ragione, l'argomento nel testo sarebbe invariato, sebbene l'illustrazione non sarebbe affatto così notevole. Tuttavia HAECKEL, nella di lui opera più recente, *Le Meraviglie della vita*, p. 23, sostiene che questi istologi hanno torto, ed io intendo che su questo punto la di lui autorità è senza dubbio molto alta, dacchè le di lui osservazioni sulla Monera sono state molto estese e particolareggiate.

Digitized by Google

cognizioni biologiche sono troppo limitate per esser meritevoli di esser dette cognizioni, e quindi le mie personali opinioni su quest'argomento non posson avere gran peso. Io preferisco quindi di rimettermi ai ragguagli dati da autorità ben riconosciute in materia di fatti biologici, e limiterò le mie ulteriori illustrazioni delle azioni intenzionali delle piante alle esposizioni della più grande autorità fra tutte quelle biologiche, Carlo Darwin, principiando con alcuni estratti dalle « Osservazioni di conclusione» nella di lui opera sulle *Climbing Plants* (Piante rampicanti) pag. 197.

« Se noi ricerchiamo come un peziolo (1), un ramo o un peduncolo di fiore (2), dapprima diventano sensibili ad un contatto, ed acquistano il potere di curvarsi verso il lato toccato, noi non otterremo una risposta sicura. Cionondimeno, un'osservazione di Hofmeister meriterà bene attenzione, cioè, che i germogli e le foglie di tutte le piante, finchè sono giovani, si muovono dopo essere state scosse. Kerner trova pure, come noi abbiam veduto, che i peduncoli dei fiori di un gran numero di piante se sono scossi o dolcemente fregati, si curvano da quel lato. E questo avviene perchè i giovani pezioli ed i viticci, qualunque possa essere l'omologica loro natura, si muovono nell'essere toccati. Appare pertanto che le piante rampicanti hanno utilizzato e perfezionato una capacità incipiente largamente distribuita, la quale capacità, per quanto ci è dato di scorgere, è di nessun uso alle piante ordinarie. Se noi facciamo ulteriori ricerche circa il modo col quale gli steli, i pezioli, i viticci ed i peduncoli dei fiori delle piante rampicanti abbiano acquistato da principio il loro potere di spontanea rivoluzione, o, per parlare più accuratamente, di avvolgersi successivamente a tutti i punti della circonferenza, noi di nuovo siamo ridotti al silenzio, o tutt'al più ci è dato solamente di osservare che il potere di muovere, sia spontaneamente, sia sotto l'azione di vari stimolanti, è di gran lunga più comune tra le piante di quanto sia generalmente supposto esserne il caso da quelli che non si sono applicati a tale soggetto ».

E nuovamente, a pag. 202: « Il punto maggiormente interessante nella storia naturale delle piante rampicanti consiste nei vari generi di movimento che esse spiegano in correlazione coi loro bisogni. Gli or-

(1) Un gambo d'una foglia.
(2) Un gambo d'un fiore.

Digitized by Google

gani i più differenti, — steli, rami, peduncoli di fiori, pezioli, le costole mediane della foglia e delle foglioline, e apparentemente le radici aeree, — tutti possiedono questo potere. La prima azione di un viticcio si è di collocarsi in una posizione appropriata. Per esempio, il viticcio della *Cobaea* dapprima sorge verticalmente all'insù, con i suoi rami divergenti, e cogli uncinelli terminali girati all'infuori; il giovane germoglio all'estremità dello stelo è nello stesso tempo piegato da un lato, in modo da essere fuori del percorso. Le giovani foglie di clematide, d'altra parte, si preparano per l'azione coll'incurvarsi temporaneamente all'ingiù per modo da servire da grappini.

« Secondariamente, se una pianta attorcigliantesi oppure un viticcio accidentalmente viene ad essere in una posizione inclinata, essa tosto si rigira all'insù, sebbene ritirata dalla luce. Lo stimolo di guida è senza dubbio alcuno l'attrazione di gravità, come Andrew Knight ha dimostrato essere il caso colle piante che germogliano. Se un germoglio di una pianta ordinaria è collocato in posizione inclinata, in un bicchiere d'acqua nell'oscurità, entro a poche ore ne sarà l'estremità ripiegata all'insù; e se allora la posizione del germoglio viene rovesciata, il germoglio piegato all'ingiù rovescia la sua curvatura; ma se il rizoma di una pianta di fragola, che non ha la tendenza a crescere all'insù, è così trattato, esso si curverà all'ingiù nella stessa direzione, anzichè nel senso contrario, della forza di gravità. Non altrimenti che colla fragola, così generalmente avviene degli attorcigliantisi germogli dell'*Hibbertia dentata*, che sale lateralmente da cespuglio a cespuglio; poichè questi germogli, se collocati in una posizione inclinata all'ingiù, mostrano poca tendenza, e talvolta nessuna, di ricurvarsi all'insù.

« In terzo luogo, le piante rampicanti, come le altre piante, si piegano verso la luce con un movimento strettamente analogo all'incurvarsi che le fa attorcigliare, per modo che il loro movimento di rivoluzione è spesso accelerato o ritardato nel viaggiare verso la luce oppure in senso opposto. D'altro lato in alcuni pochi esempi i germogli si piegano verso l'oscurità.

« Quarto: noi abbiamo il movimento spontaneo di rivoluzione che è indipendente da ogni stimolo esteriore, ma dipende dal crescere della parte, e da una salute vigorosa; e questo di nuovo naturalmente dipende da una temperatura appropriata e da altre condizioni favorevoli di vita.

« Quinto; i viticci, qualunque possa essere la loro natura omologica,

Digitized by Google

ed i pezioli o le punte delle foglie dei rampicanti fogliacei, ed apparentemente certe radici, tutte queste parti hanno il potere di movimento quando sono toccate, e di piegarsi prontamente verso il lato toccato. Basta spesse volte una pressione oltremodo leggera. Se la pressione non è permanente, la parte in questione si raddrizza ed è di nuovo pronta a piegarsi coll'essere toccata.

« Sesto e per ultimo: i viticci, tosto dopo di aver abbracciato il sostegno, ma non dopo una pura curvatura temporanea, si contraggono a spirale. Se essi non sono venuti a contatto con qualche oggetto, essi si contraggono definitivamente a spire, dopo cessato di attorcigliarsi; ma in questo caso il movimento è inutile, ed avviene solamente dopo un considerevole lasso di tempo.

« Rispetto ai mezzi coi quali sono effettuati i vari movimenti, non vi può essere gran dubbio, dopo le ricerche di Sacks ed H. de Vries, che essi siano dovuti ad uno sviluppo disuguale; ma, per le ragioni di già assegnate, io non posso credere che tale spiegazione si applichi al rapido movimento proveniente da un tocco delicato ».

E nuovamente, a pag. 206: « È stato molte volte asserito con qualche incertezza che le piante si distinguono dagli animali dall'esser prive del potere di muoversi. Dovrebbe esser detto piuttosto che le piante acquistano e dispiegano tale potere solamente quando esso è di qualche vantaggio ad esse; questo occorrendo relativamente di rado, dacchè esse sono fissate al terreno, ed il nutrimento viene ad esse recato dall'aria e dalla pioggia. Noi vediamo a quale altezza nella scala dell'organizzazione possa assurgere una pianta quando noi consideriamo una delle più perfette portatrici di viticci. Essa dapprima dispone i suoi viticci pronti per l'azione, come un polipo colloca i suoi tentacoli. Se vien spostato il viticcio, esso è influenzato dalla forza di gravità, e raddrizzasi da se stesso. Esso è influenzato dalla luce, e si piega verso di quella od in senso opposto, oppure indifferentemente la trascura, qualunque possa essere il partito più utile ad esso. Durante parecchi giorni i viticci, o gli *internodi*, o entrambi, s'aggirano con moto costante. Il viticcio s'abbarbica a qualche oggetto e tosto gli si aggroviglia attorno, e lo afferra strettamente. Nel corso di alcune ore esso si contrae in una spirale, tirando su lo stelo, e formando un germoglio eccellente. Ora tutti i movimenti cessano. Collo svilupparsi i tessuti diventano presto meravigliosamente forti e durevoli. Il viticcio ha fatto l'opera sua e l'ha compiuta in un modo mirabile ».

Digitized by Google

Le mie prossime illustrazioni saranno prese dalle osservazioni di Darwin sulla ordinaria rosolida, *Drosera rotundifolia*, e sulla *Dionaea muscipula*, comunemente nota come acchiappa mosche di Venere; come sono descritte nella di lui opera sulle *Piante Insettivore*.

La rosolida è una pianta sottile, che porta da due o tre, sino a cinque o sei foglie, le quali hanno le intiere faccie loro superiori ricoperte di minuti filamenti, simili a capelli, provvisti di glandule, ossia di tentacoli, come vengono denominati da Darwin, a cagione della loro maniera di agire. Se un piccolo oggetto organico od inorganico è collocato sulle ghiandole nel centro di una foglia, o se una mosca ad esempio, vola su quello un impulso motore viene trasmesso ai tentacoli marginali. Quelli più prossimi sono i primi ad essere influenzati e lentamente si piegano verso il centro, e poscia quelli via via più lontani sinchè finalmente tutti diventano strettamente inflessi sopra l'oggetto, il quale, se è vivente, è impedito di sfuggire, per mezzo della sostanza viscida che viene emessa dalle ghiandole, il processo impiegando da un'ora a cinque ore e più, secondo le dimensioni e la natura dell'oggetto. L'inflessione dei tentacoli avviene completamente presso alla base.

Darwin osserva, a pag. 276: « Se il punto d'inflessione di un tentacolo riceve un impulso dalla sua propria glandola, il movimento è sempre verso il centro della foglia; e così è di tutti gli altri tentacoli, quando le ghiandole loro sono eccitate dall'immersione in un liquido appropriato. (Gli effetti dell'immergere la foglia in varii liquidi sono descritti con minuti particolari nel volume). Quelli corti nella parte di mezzo del disco devono esserne eccettuati, poichè questi non si piegano affatto quando sono così eccitati. D'altra parte, quando l'impulso motore viene da un lato del disco tutto si piega con precisione verso il punto di eccitamento, dovunque questo possa essere situato. Questo è in ogni modo un fenomeno ragguardevole, poichè la foglia falsamente appare quasi fosse dotata dei sensi di un animale. Ma esso è ancor più notevole poichè, quando l'impulso motore dirige la base del tentacolo obliquamente rispetto alla sua superficie appiattita, la contrazione delle cellule deve essere limitata ad una, o due, od a pochissime file ad un'estremità. E diversi lati dei tentacoli circostanti devono essere influenzati affinchè essi abbiano tutti a piegarsi con precisione verso il punto di eccitamento.

« L'impulso motore, dacchè esso si diffonde da una o più ghiandole attraverso il disco, entra nelle basi dei tentacoli circonvicini, ed imme-

Digitized by Google

diatamente agisce sul punto di inflessione. In primo luogo, questo non procede sui tentacoli alle ghiandole, eccitando queste a riflettere all'indietro un impulso sulle proprie loro basi. Nondimeno, qualche influsso è mandato su alle ghiandole, poichè la secrezione loro è tosto accresciuta e resa acida; ed allora le ghiandole, essendo così eccitate, mandano all'indietro qualche altra influenza (non dipendente dall'accresciuta secrezione, nè dall'inflessione dei tentacoli) obbligando il protoplasma ad aggregarsi in una cellula sotto altra cellula. (Era stato previamente dimostrato che dopo l'eccitazione le cellule nei tentacoli, invece di essere ripiene di un liquido porpora omogeneo, come prima erano, contengono ora masse di svariate forme di materia porpora, sospese in un liquido più o meno incoloro). Questa può essere detta un'azione riflessa, sebbene probabilmente essa sia differentissima da quella che procede dai gangli nervosi di un animale; e ciò è il solo caso conosciuto d'un azione riflessa nel regno vegetale ».

Un'altra pianta insettivora, l'acchiappa-mosche di Venere, è a buon diritto designata da Darwin come una delle piante le più meravigliose del mondo. Caduna foglia consiste di due lobi attaccati ad un peziolo foliaceo, o peduncolo. Per continuare colle parole di Darwin, pag. 287: « I due lobi sono situati con un angolo, tra di loro alquanto minore dell'angolo retto. Tre processi o filamenti, ad estremità esilissime, collocati triangolarmente, vengono fuori dalle faccie superiori di entrambi i lobi; ma io ho veduto due foglie con quattro filamenti per ciascun lato, ed un'altra solamente con due. Questi filamenti sono degni di nota per la loro estrema sensibilità al tatto, com'è dimostrato, non già dal loro proprio movimento, ma da quello dei lobi. I margini della foglia sono prolungati in acute e rigidi projezioni, che io chiamerò spiche, in ciascuna delle quali si addentra un fascio di vasi spiriformi. Le spiche stanno in tale posizione che, quando i lobi sono chiusi, esse si serrano incrociate come i denti d'una trappola per i topi. La costola mediana della foglia, dal lato inferiore è robustamente sviluppata e proeminente. La superficie superiore della foglia è spessamente coperta, eccetto verso i margini, di ghiandole minute d'un colore rossastro o porporino, mentre il resto della foglia è verde. Non vi sono ghiandole sulle spiche, nè sul peduncolo fogliaceo. Le ghiandole sono formate da venti a trenta cellule poligonali ripiene di liquido porpora ».

I filamenti dalle loro estremità alle loro basi sono estremamente sensibili ad un contatto momentaneo di qualsiasi corpo solido, e quando

Digitized by Google

sono così toccati la trappola si chiude sull'istante. A dispetto di questa sensibilità, nessun effetto vien prodotto da un fine getto d'aria o di acqua sui filamenti. La trappola quindi non sarà fatta scattare da vento o da pioggia. Quando un insetto di dimensioni sufficienti da soddisfare la pianta è preso, i lobi rimangono stretti per un periodo di parecchi giorni, fintantochè l'insetto non sia tutto digerito coll'aiuto delle secrezioni trasudate dalle ghiandole. Se la pianta viene ingannata col mezzo di piccoli oggetti inadatti al cibo, e lasciati cadere sui filamenti sensibili, non vieno trasudata secrezione alcuna dalle ghiandole, e dopo un ventiquattr'ore all'incirca, i lobi si aprono e lasciano cader giù quegli oggetti. Inoltre, se la trappola vien fatta scattare da un insetto troppo piccolo per essere utilizzato, quello può sfuggire di tra le spiche incrociate, e, dopo un intervallo di un ventiquattro ore all'incirca, i lobi si aprono di nuovo, per modo che la trappola è di nuovo tesa.

Se piccole particelle di sostanze azotate leggermente umidicce servibili per il nutrimento sono deposte sopra i lobi, senza toccare i filamenti sensibili, i lobi si chiudono adagio e rimangono chiusi sintantochè il cibo è digerito. Altri oggetti, tali come legno, sughero, muffa, carta, pietre o vetro, possono essere lasciati per qualche tempo sulla superficie di una foglia. I lobi non si chiudono, e non viene trasudata secrezione. La pianta semplicemente li ignora. Il livello di intenzionalità è più alto di quello raggiunto dalla rosolida.

L'associazione di una mente con un organismo cotanto rudimentale come la Monera nella sua più semplice forma, consistente di una semplice goccia della sostanza gelatinosa conosciuta col nome di protoplasma, una goccia del limo primario, come noi lo nomiamo, è cosa da non rendersene affatto ragione sulla base di una teoria dello sviluppo della mente come il risultato dell'organizzazione. La mente in questo caso appare come antecedente ad ogni organizzazione percettibile. Questo è, tuttavia, in perfetto accordo colla teoria che questa mente è la prima differenziazione rudimentale della mente universale, ed invece di essere il risultato dello sviluppo dell'organizzazione, di cui cotesta forma rudimentale sembra rappresentare il punto di partenza, detta mente è in quello l'agente attivo. Secondo la teoria *trasformista*, o dello sviluppo, dell'origine di tutte le forme viventi, della quale Lamarck, Darwin e Wallace sono stati i più capaci espositori, le innumerevoli forme delle cose viventi, ora esistenti sulla superficie del globo, o che

Digitized by Google

hanno esistito durante le età trascorse, sono tutte derivate da una o più forme organiche rudimentali, delle quali la Monera può essere presa come un tipo, se essa non costituisce il vero punto di partenza. Non può essere sostenuto che questa teoria dell'evoluzione continua delle forme viventi sia giammai ancora stata stabilita sopra una base di osservazioni irrefutabili. Quando l'intelligenza primaria è posta fuori di considerazione, la teoria trovasi schiettamente ad urtare contro difficoltà apparentemente insuperabili, perfino quando il primo gradino, cioè l'avvento della vita, è presupposto, senza tentare di spiegarlo. Non può esser detto che tutte le difficoltà intieramente spariscano coll'ammettere l'intelligenza primaria, ma esse non sembrano più a lungo insuperabili.

La presente accettazione, praticamente universale, della teoria dell'evoluzione da pensatori scientifici non ha da essere ascritta alla sua completa dimostrazione sulla base di fatti osservati, ma all'essere quella la sola teoria dell'origine degli esseri viventi che concorda del tutto colla nostra esperienza di processi ordinati della natura. Essa è la sola teoria presentemente concepibile che renda possibile un'investigazione scientifica di quell'origine. Il professor S. H. Vines, nel suo discorso alla Società di Linneo, nel 1902, così si è espresso riferendosi alle nostre cognizioni della genealogia della vita organica: « Sebbene qua e là dei frammenti del mosaico sembrano essere stati acconciati insieme con pieno successo, i principali contorni, perfino, del gran quadro sono tuttora a mala pena indistintamente discernibili. Il fatto che l'evoluzione organica debba esser proceduta così lontana come essa ha fatto entro tali limiti di tempo, quali possano ragionevolmente essere concessi, ammette, nella mia mente, non altra interpretazione fuor che quella variazione non è indeterminata, ma, come Lamarck e Nägeli hanno sostenuto, vi deve esistere nella materia vivente una certa tendenza inerente, o propensione in favore della variazione nella direzione più alta. Egli è questa tendenza o propensione che io oso riguardare come il fattore primordiale ».

La selezione naturale, o la sopravvivenza del più adatto, che era proposta da Darwin e da Wallace come una spiegazione dei mezzi mediante i quali sono perpetuate delle variazioni naturali favorevoli all'organismo nel suo ambiente esistente circostante, che può differire dall'ambiente dei suoi progenitori, è secondo tutta probabilità, dopo l'agente da cui sorgono queste variazioni, l'agente ulteriore, il più po-

Digitized by Google

tente, sebbene il non solo, ad esservi implicato. Wallace ha dimostrato (1) che variazioni costante sono osservate in tutte le parti di organismi derivati dagli stessi parenti, e che esse ammontano frequentemente ad una percentuale del 20 % della parte implicata. Egli considera che queste variazioni, perpetuate per selezione naturale, sono affatto sufficienti per ispiegare la variabilità di specie essenziali ad una teoria di evoluzione. Una lunga serie di tentativi coronati da completo successo per sviluppare varietà permanenti e pregevoli di piante da fiori condusse De Vries ad una conclusione alquanto differente. Egli trovò che il maggior numero di queste variazioni costanti non erano strettamente ereditarie, cosicchè non era generalmente possibile di ottenere varietà permanenti per mezzo della loro selezione artificiale continuata.

Egli trovò, tuttavia, che di tanto in tanto delle variazioni di molta maggior estensione apparivano, affatto subitaneamente, ed erano in generale ereditariamente permanenti. Queste variazioni ereditarie, che dànno origine a varietà permanenti, o *specie elementari*, egli le denominò *Mutazioni*. La teoria della mutazione non è accettata da Wallace, ma essa ha ricevuta una conferma notevole negli esperimenti proseguiti durante gli ultimi ventitrè anni da H. Nillson nell'Istituto di cultura per seminagione, in Svalöf, nella Svezia, che fu fondato « per ottenere, mediante selezione sistematica, nuove sorta e migliori di piante agricole, le quali sarebbero di qualità più fine, e di valore più elevato, di qualunque altra che potrebbe aversi sul mercato » (2). L'ipotesi delle mutazioni sembra certamente rimuovere una delle più grandi difficoltà presentate dalla teoria trasformista. La selezione naturale non tiene conto degli interessi della progenie futura. Essa procede puramente per eliminazione delle forme meno adatte all'ambiente esistente, e non può, quindi, promuovere dei cambiamenti in una direzione che sarebbe definitivamente favorevole, ma non immediatamente vantaggiosa; ed è difficile vedere quanti passaggi, tali, per esempio, come quello da un rettile ad un uccello, possano essere effettuati mediante variazioni continue di tal carattere da essere utile per l'organismo sviluppantesi a ciascun stadio del suo sviluppo. E queste sono le sole variazioni che possono essere perpetuate dalla selezione naturale.

---

(1) *Darwinism*, cap. III.

(2) A. A. W. Hubrecht. *Contemporary Review*, june 1909, p. 738.

Digitized by Google

Inoltre, nessuna spiegazione sulle basi degli schemi meccanico e molecolare, usualmente designate dai biologi come spiegazioni « meccaniche » è stata giammai data circa l'origine della variazioni osservate nella progenie degli stessi parenti, che forma la fondazione essenziale della teoria trasformista. Sia che l'ipotesi delle mutazioni sia confermata, oppure sia che essa venga disapprovata, vale a dire, siano o non siano ereditarie le variazioni costanti ordinarie, l'evenienza di variazioni occasionali di un'estensione eccezionale è stata definitivamente provata da entrambi, De Vries e Nillson, e se queste sono regolate per frequenza e per estensione dell'intelligenza intenzionale della mente universale agente, in parte od in tutto, per mezzo della mente individuale dell'organismo, l'intiera difficoltà di spiegare queste transizioni sparisce assolutamente.

Che la mente di un organismo debba essere incapace di effettuare queste variazioni nella progenie sviluppata dalla sua propria mentalità e struttura corporea, ciò è perfettamente spiegabile quando venga ricordato che esse sono semplicemente delle variazioni della distribuzione della mente e dell'energia, corrispondenti alle diverse unità costituenti la progenie. Che quella realmente possieda questa capacità vien dimostrato dall'osservazione diretta nel caso dell'uomo e degli animali più elevati. Gli effetti eventualmente deleteri sulla salute e sulla struttura del corpo, altrettanto quanto sulla mentalità della progenie, del far subire alla femmina gravida dei disturbi emozionali, sono universalmente conosciuti e praticamente evitati nel caso della femmina dell'uomo. L'effetto sulla salute e sulla struttura del corpo è, inoltre, ben nota a ciascun allevatore di animali, che sia osservatore. La stessa influenza della mente del genitore fornisce la più semplice spiegazione che sia stata tuttora suggerita della fabbricazione dell'embrione, dall'iniziale germe protoplasmico, in una forma che rassomiglierà definitivamente a quella del genitore. Il protoplasma di un fungo pratajolo non è fisicamente distinguibile da quello di un uomo, ma, come sir William Thistleton Dyer osserva: (1) « È vero senza alcun dubbio che una particella di fungoide non differisce in alcun modo apprezzabile da una del protoplasma umano, tuttavia la prima non emergerà

(1) *Nature*, june 5, 1902. p. 121.

Digitized by Google

giammai dal suo fato di un umile pratajolo, mentre l'altra può essere animata dai pensieri di un Primo Ministro ».

Se le sostanze sono fisicamente indistinguibili, allora, salvo che le distinzioni osservate nei risultati dello sviluppo abbiano ad essere attribuite totalmente o parzialmente, a differenze in minuzie di dimensioni atomiche, al disotto del limite a cui può giungere l'osservazione, noi possiamo soltanto supporle determinate intieramente dalla natura della mente associata con ciascun germe, ed agente sopra di esso.

Huxley, descrivendo lo sviluppo sotto al microscopio del germe di una rana, osserva: (1) « Strane possibilità giacciono addormentate in quel globulo semifluido. Lasciamo che una moderata quantità di calore giunga alla sua culla acquea e la materia plastica sottostà a cambiamenti così rapidi, e tuttavia così costanti ed intenzionali nella successione loro, che uno può solamente paragonarli a quelli operati da un abile modellatore sopra una piccola massa informe di creta. Quasi per mezzo di invisibile cazzuola la massa è divisa e suddivisa nelle più piccole ed ancor più piccole porzioni, finchè essa non è ridotta ad una aggregazione di granuli non troppo grossi per fabbricare ben anche i più fini tessuti del nascente organismo. E di poi avviene come se un dito delicato tracciasse fuori la linea che dev'essere occupata dalla colonna vertebrale, e modellasse il contorno del corpo; facendo su con un pizzico la testa ad un'estremità, e la coda all'altra, e foggiando fianchi e membra nelle debite proporzioni in così artistica guisa che, dopo aver osservato il processo ora per ora, uno è quasi involontariamente invaso dalla persuasione che un qualche ausiliare per la visione più potente di quanto lo sia un obbiettivo acromatico, farebbe vedere il celato artista, con il suo disegno dinanzi a sè, nell'atto di ingegnarsi a perfezionare l'opera sua con abilissime manipolazioni ».

In questo caso il modellatore non può essere altri fuorchè la mente di già trasmessa dai parenti all'uovo, agente come una porzione differenziata della mente universale che invade tutto, però giammai scevra dall'influenza di quella.

Un punto oltremodo interessante nello sviluppo embrionale delle forme organiche, e tale che apporta l'argomento il più irresistibile in favore della teoria dell'evoluzione organica, si è che gli embrioni di

(1) *Lay Sermons*, 6ª ed., p. 261.

Digitized by Google

tutti gli animali, di tutte le piante passano entro pochi giorni, o settimane, o mesi, secondo il caso, attraverso una successione di stadii corrispondenti all'intiero corso presunto dell'evoluzione degli antenati, che si estende per un lungo periodo di milioni di anni, e tuttavia essi terminano sempre in un prodotto di un tipo simigliante a quello dei genitori.

Il professore Huxley ci dice (1) che il tuorlo dell'uovo dapprima «è sottoposto a divisione o segmentazione, come essa è detta; gli ultimissimi prodotti di quella segmentazione costituiscono i materiali per fabbricare il corpo del giovane animale; e questo è fatto su attorno ad un solco primitivo, nel di cui piano si sviluppa un cantino. Più oltre, vi è un periodo in cui i piccini di tutti questi animali si rassomigliano l'uno coll'altro, non semplicemente nella forma esterna, ma in tutti i particolari essenziali della struttura loro, così strettamente che le differenze tra di essi non possono essere considerate, mentre nel loro corso successivo essi divergono sempre più largamente l'uno dall'altro. Ed è questa una legge generale che, più strettamente si rassomigliano gli animali l'uno coll'altro nella struttura loro, quando adulti, e più a lungo e più intimamente si rassomigliano l'un l'altro gli embrioni loro; cosicchè, per esempio, l'embrione di una biscia e quello di una lucertola rimangono simili l'uno coll'altro più lungo tempo di quelli di una biscia e d'un uccello; e gli embrioni di un cane e di un gatto persistono nel rassomigliarsi più lungo tempo di quelli di un cane e di un uccello, o di un cane e di un opossum, e perfino di più di quelli di un cane e di una scimmia».

E nuovamente: «Egli è molto tempo prima della nascita che il corpo del giovane essere umano può essere distinto da quello del giovane cucciolo; ma ad un periodo discretamente primitivo i due diventano discernibili per le differenti forme delle loro parti accessorie, il sacco del tuorlo e l'allantoide»..... «Ma esattamente per queste circostanze pelle quali l'uomo che si sviluppa differisce da quelle del cane, egli rassomiglia ad una scimmia»..... «Cosicchè è soltanto affatto nei più ultimi stadî dello sviluppo che il giovine essere umano presenta differenze marcate dalla giovane scimmia, mentre quest'ultima si diparte altrettanto dal cane nel suo sviluppo quanto lo fa l'uomo. Per

(1) *Man's Place in Nature*, p. 64.

Digitized by Google

quanto possa apparire sorprendente quest'ultima asserzione, essa è tuttavia dimostrabilmente veritiera, ed essa sola apparve a me sufficiente per porre fuori di ogni dubbio l'unità di struttura dell'uomo col resto del mondo animale, e più particolarmente e più strettamente colle scimmie ».

Wallace (1) enumera alcuni pochi tra i curiosi particolari pei quali l'uomo passa attraverso a stati comuni agli animali inferiori cioè: « Ad uno stadio l'osso coccige balza fuori come una vera coda, stendendosi considerevolmente oltre le gambe rudimentali. Nel settimo mese le circonvoluzioni del cervello rassomigliano a quelle di un babbuino adulto. Il dito grosso, così caratteristico dell'uomo, formando il fulcro che deve intervenire per mantenerlo in posizione eretta, in un primitivo stadio dell'embrione è molto più corto che le altre dita, ed invece di essere parallelo a quelle, balza fuori ad angolo dal fianco del piede, corrispondendo così alla condizione permanente nei quadrumani. Numerosi altri esempi potrebbero essere citati, che illustrano tutti la stessa legge generale ».

Noi abbiamo visto come la teoria della mente universale apporti una spiegazione completamente soddisfacente della continuità assoluta nella legge meccanica ed in quella molecolare tanto attraverso la materia vivente quanto attraverso quella non vivente, accoppiate coll'assoluta linea di demarcazione tra di esse che è segnata dall'avvento alla vita. Un fenomeno alquanto analogo è presentato dalla continuità osservata nella struttura e nello sviluppo di tutti gli organismi viventi dalla Monera all'uomo, insieme colla linea di demarcazione tra l'uomo e tutti gli altri organismi, che è segnata dalla facoltà esclusivamente umana di svolgere un discorso articolato quale mezzo di espressione e di sviluppo della ragione.

L'evidenza raccolta da Romanes, e pubblicata nell'opera di lui sulla *Intelligenza animale*, dimostra l'esistenza di un potere rudimentale di ragionamento nelle menti degli animali più elevati. La linea di demarcazione è quindi molto meno distintamente tracciata di quella tra la materia vivente e non vivente; ma che vi sia una tale demarcazione apparirebbe derivare come una necessaria conseguenza dei fatti osservati, che nessun animale è stato trovato possedere la facoltà di

(1) *Darwinism*, p. 449.

Digitized by Google

esprimersi in termini di linguaggio, e che questa facoltà è, d'altra parte, posseduta perfino dalle più basse razze di uomini esistenti. Riferendosi a questo punto, il profersor Max Müller, nel di lui discorso presidenziale alla Sezione Antropologica dell'Associazione Britannica nel 1889, si espresse come segue: « Che cosa Bunsen considera come la vera barriera tra l'uomo e la bestia? È la parola, che non è conseguibile, od almeno non è conseguita, da qualsiasi animale fuori dell'uomo. Noi tutti conosciamo come per un certo tempo, e principalmente a cagione della predominante influenza di Darwin, sia stato fatto ogni concepibile sforzo per scemare la distanza che la favella pone tra l'uomo e la bestia, e per trattar la parola come una linea evanescente nell'evoluzione mentale dell'animale e dell'uomo. È richiesto talora alquanto coraggio per contrastare l'autorità di Darwin, ma attualmente tutti i savii pensatori concordano, io credo, con Bunsen, che nessun animale abbia giammai sviluppato ciò che noi intendiamo per linguaggio razionale, cioè distinto da semplici suoni esprimenti piacere o dolore, un soggetto trattato ultimamente molto a fondo dal professor Romanes. Ancora, se tutta la scienza vera è basata su fatti, il fatto sta che nessun animale ha giammai trovato ciò che noi intendiamo per un linguaggio; e noi quindi siamo perfettamente giustificati a sostenere con Bunsen e con Humboldt, contro a Darwin e Romanes, che vi è una differenza specifica tra l'animale uomo e tutti gli altri animali, e che quella differenza consiste nel linguaggio come l'esterna manifestazione di ciò che i Greci intendono per *Logos*.

Wallace (1), mentre insiste fortemente su quelle due linee di demarcazione, introduce un altro stadio intermedio tra quelle, l'avvento della coscienza. Dopo di aver trattato del primo stadio, « il cambiamento dall'inorganico all'organico », egli scrive: « Lo stadio vegnente è ancor più meraviglioso, ancor più completamente all'infuori di ogni possibilità di spiegazione per mezzo della materia, delle sue leggi e delle sue forze. Si è l'introduzione della sensazione o coscienza, che costituisce la distinzione fondamentale tra il regno animale e quello vegetale. Qui ogni idea di una struttura meramente più complicata che produce il risultato è fuori di quistione. Ci appare affatto assurdo il presumere che ad un certo stadio di complessità della costituzione atomica, e come

(1) *Darwinism*, pp. 474-475.

Digitized by Google

risultato necessario di quella complessità sola, un *ego* possa sorgere nell'esistenza, ma che *sente*, che è conscio della sua propria esistenza.

« Noi qui abbiamo la certezza che qualche cosa di nuovo è sorto, un essere di cui la coscienziosità (1) ha proceduto nel crescere in potere ed in definitezza finchè quella non è pervenuta al sommo, al disopra dei più elevati animali. Nessuna spiegazione verbale o tentativo per spiegare — tale come lo stabilire che la vita sia il risultato delle forze molecolari del protoplasma, oppure che l'intiero universo organico esistente, dall'ameba su fino all'uomo, fosse latente nella nube di fuoco dalla quale si è sviluppato il sistema solare — può fornire qualche soddisfazione mentale, od ajutarci in qualche modo nella soluzione del mistero».

Io sono completamente d'accordo con il principio di questo argomento eccettochè invece di identificare sensazione e coscienziosità, sembra a me che i fatti osservati indicano un'ascesa graduale della più rudimentale forma di sensazione, che accompagna il primo avvento alla vita sino alla piena coscienziosità di un'*ego* che conosce la sua propria esistenza; e che questa coscienziosità di un'*ego* o *personale*, perfino nella sua forma la più rudimentale, appare per la prima volta nell'uomo, e nella sua forma pienamente sviluppata, solamente nell'uomo dopo che egli ha raggiunto un alto grado di sviluppo. Io quindi considero il secondo stadio di Wallace come esteso sull'intiero intervallo tra la prima linea di demarcazione, l'avvento della vita, e la seconda linea di demarcazione, l'avvento dell'uomo.

Anteriormente all'avvento della vita la mente universale è manifesta solo come un potere formativo e direttivo non visibilmente in associazione diretta colla materia. A questo punto la mente dapprima diventa così strettamente associata colla materia che le loro proprietà sono distinguibili soltanto attraverso le conoscenze ottenute mediante il paragone di osservazioni sulla materia vivente o non vivente. Se la materia vivente da sola fosse efficace per l'osservazione, uno schema puramente panteistico sarebbe perfettamente adeguato per l'espressione dei fenomeni naturali osservati, sebbene filosoficamente inadeguato, come quello che identifica l'Assoluto e l'Incondizionato colle sue manifestazioni fenomenali. La distinzione osservata tra materia

---

(1) Il preciso valore di questo vocabolo l'ho dichiarato nella mia prefazione. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

vivente e non vivente dimostrasi essere una rappresentazione inadeguata perfino dei fenomeni osservati. Se fosse possibile di fare il passo ulteriore col dimostrare la derivazione di energia dalla mente universale, quest'ultima formerebbe allora una rappresentazione completa di tutti i fenomeni osservati, ma benanche in tal caso sarebbe non filosofico l'identificare tale rappresentazione fenomenale coll'Assoluto. Il fare questo sarebbe limitare l'Assoluto alle sue manifestazioni relativamente a noi stessi, e sebbene queste manifestazioni siano tutto ciò che possibilmente diventa a noi noto, noi staremmo ancora commettendo l'assurdità di imporre condizioni sull'Incondizionato. Drummond ci fornisce delle prove per supporre che l'ascesa dell'organismo materiale sul nostro globo abbia diggià raggiunto il suo culmine nella attuale struttura corporea dell'uomo (1), e che la continuazione dell'evoluzione ha da essere cercata per l'avvenire principalmente nello sviluppo delle di lui più alte facoltà mentali e spirituali. In questo processo l'influenza della selezione naturale viene gradualmente rimossa e sostituita dalla intelligenza direttrice ed intenzionale dell'uomo, e l'analogia col passato ci condurrebbe a prevedere un costantemente crescente influsso di queste più elevate facoltà dalla mente universale che invade in ogni cosa, dacchè il progresso dell'uomo verso l'alto lo rende capace di assimilarsele. La facoltà etica, nel senso della facoltà mediante la quale noi ci ingegniamo di determinare il valore od il merito della condotta, e la veracità dei giudizi pronunciati intorno a quella, non può essere spiegata mediante « uno schema naturalistico », come esso è spesso denominato, vale a dire, uno schema secondo il quale, nelle parole del professore W. R. Sorley (2), « il più completo ragguaglio del mondo, nella sua totalità, per quanto essa è possibile, e ritenuto essere la descrizione di esso in termini fisici (3): il fattore spirituale è ritenuto essere dipendente, se pur non illusorio ». Sarebbe impossibile di giustificare questa proposizione in poche pagine, ma essa è dimostrata colla logica la più convincente e con lucidità nell'opera a cui ci siamo riferiti.

---

(1) Vedere *The Ascent of Man*, H. DRUMMOND, capo III.

(2) *Ethics of Naturalism*, p. 17.

(3) Il professore Sorley evidentemente adopera il termine « fisico » nel senso di materiale, e non già col più vasto significato che io gli ho dato come quello che comprende i fenomeni mentali, altrettanto quanto molecolari e chimici.

Digitized by Google

Huxley prende una posizione estrema, ed, a parer mio, non giustificabile, per convalidare questo modo di vedere. Egli sostiene che, come il professor Sorley (1) ha espresso altrove « l'ordine cosmico non ha veruna cosa a dire all'ordine morale, eccettochè, in una maniera o nell'altra, esso ha dato a lui i natali; l'ordine morale non ha veruna cosa a dire coll'ordine cosmico, eccettochè esso è certamente cattivo ».

Per citare le proprie parole di Huxley (2) « la pratica di ciò che è eticamente il meglio, ciò che noi diciamo bontà o virtù, implica un metodo di condotta, che, sotto tutti gli aspetti, è opposto al successo nella cosmica lotta per l'esistenza..... Il progresso etico di società dipende, non già nell'imitare il processo cosmico, ed ancor meno dal rifuggirsene, ma nel combatterlo ».

Nelle prime fasi della vita il principio egoistico, la lotta per la vita, è certamente il fattore dominante; ma il principio altruistico, o la lotta per la vita degli altri, come Drummond la denomina, fa la sua apparizione ad un primo stadio nei fenomeni di riproduzione. Come Herbert Spencer osserva (3): « Qual'è l'aspetto etico di questi principii altruistici? In primo luogo, la vita animale di tutti i generi, fuorchè dei più infimi, è stata conservata in virtù di quelli. Escludendo i *Protozoi*, tra i quali l'operazione loro è quasi impercettibile, noi vediamo che senza vantaggi *gratis* per la prole, e senza vantaggi procacciati per gli adulti, la vita non avrebbe potuto continuare. In secondo luogo, per virtù di quelli la vita si è gradualmente evoluta in forme più elevate. Mediante la cura della progenie, che è andata diventando più grande col progredire dell'organizzazione, e mediante la sopravvivenza dei più idonei nella concorrenza tra adulti, che è divenuta più abituale coll'organizzazione progrediente, la superiorità è stata favorita ed ulteriori progressi sono stati causati ».

Data l'esistenza della cura altruistica per la prole, perfino nella forma la più rudimentale, e la sua variabilità nei differenti individui, la selezione naturale è perfettamente competente per spiegare la sua conservazione e sviluppo. Tanto la sua esistenza originale, quanto la sua variabilità si possono spiegare dal punto di vista che io ho patrocinato,

---

(1) *Recent Tendencies in Ethics*, p. 47.
(2) *Evolution and Ethics*, p. 81-83.
(3) *Principles of Ethics*, vol. II, p. 5.

Digitized by Google

ma non sono giammai state spiegate da qualsiasi cosidetto principio meccanico. Quando l'evoluzione giunge nella sfera d'influenza dell'intelligenza intenzionale dell'uomo e della sua preveggenza, la selezione naturale cede il campo gradualmente ad una selezione artificiale, o intenzionale; e questo è vero in modo preminente dei più alti stadii dell'evoluzione etica. Come il professor Sorley ci dice: (1) « Dev'essere tenuto a mente che, a rigor di termini, la *selezione naturale*, non è affatto una selezione; essa è soltanto un processo negativo, non già un processo positivo. La tendenza positiva viene intieramente da un'altra sorgente, da una tendenza entro l'organismo. Nei più infimi livelli della vita la sua principale manifestazione è l'inspiegata tendenza alla variazione. Nell'uomo la forza è riflessiva e razionale: gli scopi sono preveduti nell'idea e deliberatamente si tende a conseguirli; e, per quanto l'attività è saviamente diretta, il processo negativo di selezione denominato « naturale » è sostituito da una selezione positiva, che è intelligente. Il corso dello sviluppo umano è affatto male interpretato se noi trascuriamo o l'operazione della selezione soggettiva da parte dell'individuo che si sforza di conseguire il suo scopo, o l'operazione organizzata della stessa forza come quella che è esibita nella selezione sociale. Tra quest'ultima e la selezione naturale vi è qualche analogia per i risultati da essa prodotti; ma esse sono fondamentalmente distinte nella loro natura e modo di lavorare. L'evoluzione lavora in parecchie guise, e la selezione naturale non è nè il suo primo metodo, nè quello finale. Quindi, per quanto interesse noi portiamo alle quistioni di fatto e della storia, comunemente classificata come etica — vale a dire alla natura ed allo sviluppo delle istituzioni morali e delle idee morali — l'asserzione dello sviluppo morale non implica che il processo di evoluzione sia stato determinato dallo stesso metodo come quello che serve di regola nella biologia, non più di quanto quell'asserzione implichi che il processo di evoluzione sia stato determinato dallo stesso metodo, come quello che regge i cambiamenti astronomici o cosmici. Il corso dello sviluppo morale può cominciare ad un periodo quando la selezione naturale è nell'ascendere, ma esso vien fuori da quello ad uno stadio più alto in cui l'influenza della selezione naturale scema e la ragione domina il processo. I fatti della vita morale — siano essi della natura di un'istituzione sociale,

(1) *The Ethics of Naturalism*, pp. 318-320.

Digitized by Google

oppure appartengano essi al più interno ordine di idee — non possono essere spiegati dalla selezione naturale sola. Per intenderli noi dobbiamo riconoscere i fatti ovvî di preveggenza e di intenzionalità. L'evoluzione loro non è intieramente e tanto meno principalmente naturalistica: essa involve un fattore spirituale, che è manifestato chiaramente nella storia dell'uomo, e che è altrettanto distinto dalla selezione naturale quanto la selezione naturale è distinta dalle cause meccaniche a cui i cambiamenti organici si riferiscono. Il metodo dell'evoluzione comincia col meccanismo, è mutato quando appare la vita, è di nuovo mutato quando la vita diventa conscia di se stessa, e può guardarsi innanzi ed all'indietro. A ciascuno di questi stadii l'apparizione di un nuovo fattore può essere osservata, e questo nuovo fattore influisce sul risultato e modifica il metodo del processo. È una caratteristica del naturalismo il tentare un'interpretazione dell'intiero processo in termini di quei fattori che soli appaiono agli stadii primitivi. La teoria ha il vantaggio della semplicità; ma la semplicità è acquistata alle spese dei fatti ».

Egli è quando la direzione intenzionale dell'evoluzione morale comincia che l'uomo deve chiedere non semplicemente come le idee e le istituzioni morali siano state raggiunte, ma qual sia la direzione secondo la quale si abbia a desiderare il progresso; egli deve chiedere qual condotta debba essere tenuta, in altre parole, che cosa è buono ?

« Più lontano noi ci inoltriamo nell'esaminare qualsiasi teoria naturalistica di etica », dice il professor Sorley (1) « e più diventa chiaro che non è possibile approssimarsi più da vicino ad una soluzione della quistione etica, dell'osservare quali metodi di azione siano verosimilmente per essere i più piacevoli, o quali tendenze all'azione siano le più forti; e questo può solamente farsi entro strettissimi limiti sia di tempo che di accuratezza. Circa a quali cose siano buone, nulla può esser detto senza una previa supposizione che identifica il bene con qualche simile nozione come piacevole o potente. La dottrina dell'evoluzione stessa, che ha dato nuova voga al Naturalismo, sia nella moralità sia nella filosofia in generale, soltanto allarga la nostra veduta del vecchio paesaggio. Mediante il suo aiuto noi non

(1) *Ethics of Naturalism*, p. 326-327.

Digitized by Google

possiamo passare dall' « è » al « bisogna », o dalla causa efficiente alla causa finale, più di quanto noi possiamo ottenere oltre il regno dello spazio per mezzo del microscopio o del telescopio ».

Il modo, col quale un sistema di etica dell'evoluzione diventa possibile quando la realtà è spiegata come « retta ed espressa da una intelligenza », è così lucidamente stabilito nei paragrafi di conclusione dell'opera di lui che io riporterò colle di lui proprie parole: (1) « Il carattere del corso dell'evoluzione è visto in luce diversa quando vien riconosciuto che la condotta dell'uomo ed i suoi metodi devono essere tenuti in conto nell'interpretare il processo. Gli scrittori scientifici che sono stati i più avanzati nel sostenere il reclamo che l'uomo dev'essere ritenuto esser egli una parte del processo cosmico, sono pure, sfortunatamente, stati inclinati ad interpretare l'intiero processo, non già come esso è, ma come esso sarebbe separatamente dall'intervento dell'uomo e degli ideali che l'uomo apporta per resistere a quello. Ma il reclamo che l'uomo dev'essere interpretato come parte dell'universo implica la reclamazione contraria che la natura dell'universo non può essere capita separatamente dalle caratteristiche distintive dell'attività dell'uomo. E, quando questo sia concesso, l'interpretazione naturalistica dell'evoluzione diventa difficile sempre maggiormente. L'evoluzione non può più oltre esser considerata come intieramente senza intenzione, perchè quella parte di ciò che noi nomiamo condotta dell'uomo senza alcun dubbio manifesta un'intenzione. Ciò non può essere intieramente indifferente o antagonistico alla moralità, perchè l'azione degli uomini, che entra nel processo, porta lo stampo delle idee morali. Queste considerazioni non sono messe innanzi per provare la verità della veduta che il processo di evoluzione sia l'espressione di un'intenzione divina. Esse provano soltanto che l'intenzione e l'intelligenza sono in qualche luogo entro il processo, non già che esse siano presenti dappertutto, o che l'intiero corso di natura sia l'espressione di un'intenzione crescente. Ma i fatti lasciano campo a questa interpretazione, se essi non la dimostrano. La sua giustificazione richiederebbe lo stabilire una veduta del mondo che può essere detta idealistica, vedendo che essa spiegherebbe la realtà come dipendente dalla mente ed esprimente la stessa. Una

(1) *The Ethics of Naturalism*, p. 331-333.

Digitized by Google

simile giustificazione non può essere qui tentata. Ma non è inopportuno di osservare che essa ci pone in grado di evitare tanto gli sforzi infruttuosi dei naturalisti per derivare una dottrina etica dalla storia dello sviluppo, quanto la veduta opposta fatta valere da Huxley che gli ordini cosmico e morale trovansi in un conflitto senza speranza di conciliazione. Quella evita l'ultimo modo di vedere, perchè quella concerne le idee morali e le istituzioni dell'uomo, in quanto questi fa parte del processo completo, quali fattori nel movimento che conduce col tempo dalla natura allo spirito. E quella evita il primo modo di vedere, perchè essa sostiene che l'elemento etico, il quale è manifestato per ultimo nel processo temporale, è presupposto dal primo, e necessariamente, per l'intelligenza del tutto. L'ideale della bontà può ajutare nell'interpretazione dell'evoluzione, ma la sua propria spiegazione dev'essere ricercata mediante un altro metodo ».

« Noi vediamo allora che la teoria dell'intelligenza primaria proposta in questo capitolo porta una soluzione adeguata di ciascheduno dei problemi che sono stati trovati incapaci di espressione in termini degli schemi meccanico e molecolare, colla singola eccezione dell'origine dell'energia. Inoltre, questo è stato effettuato senza attribuire all'intelligenza primaria qualsiasi potere all'infuori di quello che può essere derivato dal legittimo processo fisico di conseguenza dei dati osservati. Rimane ancora a noi da ricercare se un qualche schema alternativo è offerto, il quale serva per spiegare i fenomeni. La posizione puramente materialistica che nega l'esistenza della mente, salvo quale funzione di materia, è ora tanto completamente riconosciuta come « non sia tanto un errore quanto un'assurdità », per citare le parole di sir Leslie Stephen, che nessun pensatore può esser trovato che le difenda a spada tratta, e l'ultimo schema offerto quale un'alternativa all'intelligenza primaria è, per quanto io sappia, quello proposto dal professor Hæckel, sotto il nome di *Monismo*, un vocabolo originalmente adoperato da Wolff per denotare o il puro materialismo che nega ogni realtà alla mente, o il puro idealismo che nega ogni realtà alla materia. Il professor Hæckel è uno zoologo il quale si è acquistata una riputazione meritamente alta coi suoi importanti contributi alla conoscenza degli infimi fra gli organismi viventi, quali sono descritti nelle di lui monografie sui *Radiolari*, *Spugne e Pesci gelatinosi*. Egli è altresì salito in fama presso un largo stuolo di lettori per le sue opere popolari sulla evoluzione biologica. Queste sono scritte in uno stile interessante, e qualcuna di

Digitized by Google

esse è stata tradotta in inglese (1), ma dal punto di vista di chi è privo d'istruzione e che ricorre ad esse per informazioni, tutte quante esse appaiono soggette al difetto del non distinguere sempre tra esposizioni di verità accertata e semplici ipotesi senza sostegno di prove. Ben anche simili ipotesi, o congetture circa la verità, possono essere di un ragguardevole interesse quando trattino di soggetti sui quali lo scrittore può accampare diritti d'essere un'autorità, ma egli è un confondere le menti degli indotti quando quelle ipotesi sono messe innanzi, senza riserva alcuna, come fatti. Un esempio meritevole di nota di questo può essere ritrovato nella di lui genealogia dell'uomo (2), nella quale, non essendo egli contento dei contorni principali torbidamente discernibili, indicati dall'osservazione, egli ristucca con eccessivi particolari di una minutezza araldica, giungendo perfino a tal punto d'inserire dei tipi immaginari di organismi, che egli reputa avere verosimilmente esistito, ma che nessun osservatore ha giammai veduto tanto nelle forme viventi quanto in quelle fossili. Inoltre, questi tipi sono presentati come se essi rappresentassero fatti accertati, senza qualsiasi indicazione del loro carattere puramente ipotetico. Non è quindi sorprendente che il grande fisiologo e segretario dell'Accademia delle Scienze di Berlino, Du Bois Raymond, debba aver descritto questa genealogia come tale che abbia all'incirca altrettanto valore quanto le genealogie degli eroi d'Omero ne hanno per il critico storico. Noi vedremo che quando il professore Haeckel viene a trattare di fenomeni fisici, un soggetto sul quale egli evidentemente non è a suo posto, quel difetto diventa molto più accentuato, e vengono da lui messe innanzi, come fatti, delle ipotesi non solamente senza appoggio veruno, ma pur delle ipotesi che riescono ovviamente assurde a qualsiasi ben informato studente di fisica.

La supposizione fondamentale dello schema di Haeckel è l'assoluta mancanza di intenzionalità di tutta l'attività della natura, che egli espone come segue: (3) « La *Disteleologia, o la teoria della mancanza di intenzionalità*, è il nome che io ho dato alla scienza degli organi rudimentali di parti del corpo soppresse e degenerate, senza scopo ed

(1) Vedi Nota a pag. 343.
(2) *History of Creation*, vol. II, cap. XXVII.
(3) *History of Creation*, vol. II, p. 353.

Digitized by Google

inattive; uno dei rami più importanti e più interessanti dell'anatomia comparata, che, quando venga rettamente stimato, è sufficiente da solo per confutare l'errore fondamentale del concetto teleologico e dualistico della Natura, e per servire come fondamento della concezione meccanica e monistica dell'universo » (1).

Siccome io non posso vantare autorità alcuna quale critico di ipotesi biologiche, io aggiungo il seguente estratto dalla recensione del professor Huxley circa l'edizione originale tedesca: « Il professor Hæckel ha inventato un nome nuovo e conveniente: *Disteleologia* per lo studio delle *preterintenzionalità* che si possono osservare negli organismi viventi, tali come i numerosissimi casi di strutture rudimentali ed apparentemente inutili. Io confesso tuttavia che mi è spesso sembrato che i fatti di Disteleologia intercettino entrambe le strade. Se noi stiamo per supporre, come fanno generalmente gli evoluzionisti, che gli organi senza uso si atrofizzano, simili casi come l'esistenza di rudimenti laterali di dita del piede di un cavallo ci pone un dilemma. Perchè, o questi rudimenti non sono utili all'animale, nel qual caso, considerando che il cavallo ha esistito nella sua forma presente sino dall'epoca pliocenica, essi sicuramente dovrebbero essere scomparsi, o altrimenti essi servono in qualche modo all'animale, nel qual caso essi sono utili come argomenti contro la Teleologia (2). Un argomento consimile ma più forte può essere basato sull'esistenza di capezzoli, e benanche di glandole mammarie funzionali in animali maschi... Non vi può essere dubbio che la glandola mammaria fosse altrettanto apparentemente inutile nel più remoto antenato maschio dell'uomo, quanto nell'uomo vivente, ed ancora essa non è scomparsa. È dunque ancora di qualche profitto per l'organismo del maschio di conservarla? Così può essere; ma in tal caso il suo valore disteleologico se n'è ito ». In ulteriori edizioni delle opere sue, contenenti la ristampa di quanto sopra, Huxley aggiunge l'osservazione che « la recente scoperta della parte importante sostenuta dalla glandola tiroide dovrebbe essere di ammonimento ad ogni speculatore circa gli organi inutili ».

---

(1) *The Academy*, 1869; ripubblicato in *Critiques and Addresses* e in *Darwinismus*.

(2) La *teleologia*, o scienza delle cause finali delle cose, non dev'essere confusa colla *teologia*, la scienza che tratta di Dio e dei rapporti dell'uomo colla Divinità, già presupposta quale causa finale; mentre la prima muove alla ricerca di quelle cause. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

L'ulteriore sviluppo dello schema del Professor Hæckel, se pur quello può essere onorato con un tal nome, ha per sua base una lunga serie di ipotesi proposte sotto forma di asserzioni positive, ma senza alcun tentativo per stabilire la loro validità. Una di queste è il principio della conservazione dell'energia, che è naturalmente ammissibile; un altro è l'indistruttibilità della materia, il qual principio, sebbene sia ora conosciuto non esser vero nel senso dapprima ascritto a quello, diventa ammissibile quando il termine: *materia* sia esteso, come deve esserlo, per includere la sua base eterea. Tengon dietro, quindi, due ipotesi senza verun sostegno, la prima delle quali si è che l'universo è infinito nella sua estensione spaziale, la qual ipotesi da considerazioni svolte nel Capo XVI, vien fatta vedere essere non probabile, sebbene non possa dirsi definitivamente dimostrata la sua falsità. Questa quistione tuttavia non è essenziale per il di lui argomento. La seconda si è che l'universo è eterno, non avendo nè principio nè fine; e questa ipotesi è in conflitto diretto con l'osservata dissipazione di energia, e, rispetto all'universo privo di intenzionalità presunto da Hæckel, può esser dimostrata non vera, in conseguenza della costituzione molecolare della materia, qual ci è data dall'osservazione. Di due asserzioni ulteriori che raggiungono il colmo dell'assurdità fisica, l'una nega la legge della dissipazione dell'energia, la sola ragione posta innanzi dal professore Hæckel essendo che la sua validità non è coerente colle di lui ipotesi; l'altra pone in disparte la legge d'inerzia della materia e la rimpiazza coll'asserzione che l'etere e la materia posseggono sensazione e volontà, propensioni ed avversioni, e la capacità di dirigere l'azione loro in armonia con ciò. Finalmente il professor Hæckel presume che la lotta continua da parte di ciascun atomo nell'universo per seguire il corso chiaramente tracciato per esso dai suoi propri desideri, prepari un fondamento adeguato per l'osservato ordine della natura. Egli è ovvio che uno schema il quale è fondato in questo modo sopra ipotesi non verificate, e che non solamente non fa tentativi per verificarle, ma, quando esse trovansi in conflitto coll'osservazione, rigetta l'evidenza collo scopo di ritenere le ipotesi, è del tutto non scientifico, e non richiede quindi particolare considerazione in un trattato di fisica. Che una simile produzione debba emanare da una mente che è stata la sorgente di contributi degni di nota per l'incremento delle cognizioni scientifiche, ciò presenta un problema interessante, ma non affatto nuovo nella patologia mentale.

Digitized by Google

Ove non fosse che il *Problema dell'Universo*, il quale è dedicato all'esposizione di questo schema, è stato largamente diffuso, ed è stato considerato come un'autorità scientifica, tra i lettori il di cui allenamento è insufficiente per porli in grado di distinguere tra argomento e pura asserzione, esso sarebbe stato passato sotto silenzio. Acciocchè i lettori possano verificare per loro propria soddisfazione che la precedente presentazione non è una mera parodia, le ipotesi fondamentali del professor Haeckel vengono enumerate colle proprie di lui parole nell'Appendice A (1).

Può tornare interessante al lettore, prima di portare a compimento questo capitolo, di indicare molto brevemente la linea di pensiero che condusse lo scrittore a formulare la teoria della mente universale che egli si è ingegnato di stabilire, nelle pagine precedenti, sopra una base strettamente d'osservazione. La di lui attenzione fu dapprima diretta alle relazioni tra mente ed energia nel considerare il risultato avventuroso, in modo notevole ed inatteso, di un semplicissimo esperimento fatto per attestare la realtà della possibilità addotta della trasmissione del pensiero tra mente e mente, altrimenti che per i consueti canali dei sensi conosciuti. Questo risultato non indicava una qualche azione più diretta che nei metodi ordinari in cui questi canali sono utilizzati, e non fu quindi di aiuto alcuno nella soluzione del problema che è contemplato dal presente capitolo. Esso dimostrò, tuttavia, affatto concludentemente, l'esistenza di canali fisici di comunicazione tra cervello e cervello, diversi dai sensi generalmente noti, ed, a cagione del suo interesse intrinseco, esso è descritto, ed i suoi rapporti sono discussi, nell'Appendice B. Una volta richiamata l'attenzione sulle relazioni tra mente e mente, era ben naturale di considerarle in correlazione con quell'unità di natura che è indicata dall'intiera direzione del moderno progresso scientifico. Ai tempi degli antichi

---

(1) La maggior parte delle opere di Haeckel sono state tradotte in Italiano. Ma, stante l'esiguo numero dei lettori, specialmente per consimili temi scientifici, la vendita ne risulta assai limitata, epperò ogni volume è di prezzo elevato e quasi inaccessibile allo studioso (Per il *Problema dell'universo*, L. 20). Più popolari sono le edizioni francesi; tra le altre una di *Schleicher frères* ha dei volumi a L. 2 caduno. Ma siamo tuttavia ancor lontani dalle edizioni inglesi di *six penny*, ossia L. 0.70. Per tal modo può la coltura avere larga diffusione. (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

filosofi, o ricercatori di sapienza, della Grecia, la somma totale delle cognizioni intorno alla natura era così ristretta che l'intero regno dei fenomeni naturali era il dominio di ciascheduno di essi e di tutti, e questo stato di cose perdurò sino al Medio Evo. Non è stato che nel sedicesimo secolo già ben inoltrato che il filosofo cominciò a specializzarsi, e questa specializzazione raggiunse il suo massimo sviluppo durante il secolo XVIII e la prima parte del XIX, quando le conoscenze scientifiche apparvero doversi dividere in un gruppo di compartimenti suddivisi. Cominciò di poi l'epoca della generalizzazione, nel di cui sviluppo i due grandi fisici Hermann von Helmholtz e Lord Kelvin furono preminenti al disopra degli altri tutti, mentre da Darwin e da Wallace venne l'importante contributo che rese possibile di costrurre uno schemá scientifico di struttura vivente, e questo, inoltre, nella più stretta armonia coll'unità indicata dalla fisica della materia inorganica. La convinzione di quest'ultimissima unità di tutti i fenomeni fisici si impadronisce di noi con forza irresistibile, mediante la moderna teoria dell'elettricità e della materia, secondo la quale la somma totale dei svariati fenomeni materiali, esibiti altrettanto dalla materia vivente quanto da quella non vivente, forma una singola unità che tutto abbraccia e che consiste definitivamente soltanto di etere in moto, ossia in linguaggio più astratto, di cambiamenti di energia. Se quindi le menti degli uomini e degli altri organismi fossero entità separate, senza correlazione alcuna, esse costituirebbero, per quanto noi possiamo accertare, i soli esempi di discontinuità nell'universo fisico; e la loro correlazione attraverso ad una qualche unità come quella della mente universale è filosoficamente indicata dal principio di continuità. Inoltre simili unità separate non connesse con il tutto dei fenomeni materiali non potrebbero avere parte attiva in questi ultimi e noi saremmo costretti a riprendere in esame l'imperfette rappresentazioni dei fenomeni di coscienziosività che sono stati scartati come ripugnanti alla ragione nostra. Finalmente, noi ci troveremmo di fronte all'insolubile problema di spiegare rappresentazioni di fenomeni materiali, raggiunte soltanto attraverso queste entità separate, non connesse con il Tutto, ed anche acciecanti in questa unità armoniosa, alla quale si è pervenuti mediante operazioni di parecchie menti.

Da questo punto di vista, l'esistenza di una mente universale, in correlazione colle unità, altrimenti separate, che formano le menti di tutti gli organismi viventi, appare come una conclusione inevitabile,

Digitized by Google

e la sola quistione, che rimane da determinare, si è se quella ha da essere considerata come l'origine, o non piuttosto come il risultato, dell'evoluzione. La prima alternativa spiega la formazione e la conservazione dell'universo, d'accordo colle osservate leggi di natura, colla semplice supposizione di un allargamento del contenuto osservato della mente universale, senza qualsiasi cambiamento nella sua natura. L'ultima alternativa non serve. In altre parole, si è verificato, mediante l'ultimissimo criterio scientifico, che la teoria dell'intelligenza primaria è adeguata per spiegare i fatti osservati, mentre si è trovato essere inadeguata l'ipotesi dello sviluppo della mente nel corso dell'evoluzione. Il pensatore scientifico, quindi, si trova costretto a respingere quest'ultima ipotesi e ad accettare la prima. La necessaria correlazione delle menti con tutti gli organismi viventi trova allora una spiegazione semplice e naturale nel fatto della loro comune derivazione dalla mente universale od intelligenza presente dappertutto, e della loro continua relazione con quella.

È necessario che le limitazioni dell'argomento qui sviluppato siano debitamente riconosciute. In primo luogo, questo, al grado qui raggiunto, non provvede una prova della creazione dell'universo, ma solo della sua formazione, o costruzione, dal materiale utilizzabile, cioè il totale di energia. È stato trovato necessario di presumere l'esistenza di questa totalità allo scopo di spiegare l'universo materiale quale presentato alla nostra esperienza, sebbene la natura della distribuzione iniziale dell'energia apparisse non materiale. Non sembra esservi qualche filosofica impossibilità inerente di una simile estensione ulteriore dei nostri dati empirici i quali ci porrebbero in grado di dedurre la creazione dell'energia stessa dal potere della mente. Se noi potessimo fare questo passo ulteriore, l'argomento puramente fisico ci condurrebbe immediatamente alla dimostrazione definita dell'esistenza di un Dio creatore, come è presentato nelle molte forme della teologia popolare. La relazione definitivamente stabilita tra mente ed energia, tuttavia, in quanto che subordina completamente l'energia alla mente, suggerisce con vigore tale conclusione. Inoltre, se la mente non è essa stessa la più alta unità entro a cui è compresa l'energia, e da cui questa procede, l'argomento della logica hegeliana, come io tra breve dimostrerò, fornisce una dimostrazione assoluta, sulla base della relazione stabilita tra mente ed energia, che se quest'ultima non è inclusa nella prima, entrambe devono necessariamente essere incluse in una più alta unità.

Digitized by Google

Il principio filosofico di economia ci impedirà di ricercare una spiegazione dell'universo nei termini di una simile unità più elevata, ammenochè non sia trovato che la mente è insufficiente, e qualche simile più alta unità debba necessariamente essere qualche cosa di più grande che la mente in tutta la sua pienezza, ed includente quella. Nell'uno e nell'altro caso noi vediamo che l'argomento fisico ci adduce ad una risoluzione completa del dualismo cartesiano e kantiano tra la mente e la materia, tra il soggetto che percepisce e l'oggetto percepito. Esso quindi effettua una completa razionalizzazione dell'intiero schema dell'universo quale è a noi noto. La ragione, il più alto principio della mente che noi riconosciamo, è dimostrata regnare suprema attraverso all'universo, soggetta solo alla possibile esistenza di principii più alti che rappresentino aspetti dell'ultimissima realtà che stanno al di là del punto a cui si possa giungere sia coi nostri poteri di osservazione sia con quelli della nostra ragione.

Le limitazioni reali inerenti alla natura di quest'argomento costituiscono gran parte del suo valore. In luogo di una presentazione diretta della esistente di per sè stessa, determinata di per sè stessa, e quindi infinita realtà ultimissima, che la nostra ragione è, in conseguenza delle sue proprie limitazioni, totalmente incapace di comprendere, quest'argomento ci conduce ad una presentazione, in verità limitata, ma solamente entro l'estensione dei nostri poteri di comprensione. Noi abbiamo presentato alla cognizione nostra solo questi aspetti della realtà definitiva che sono in relazione diretta con noi stessi, e solamente in quel grado in cui la nostra ragione limitata è capace di conoscerli. Inoltre, la conoscenza della natura di causalità che la scienza fisica nel suo presente grado di sviluppo colloca a nostra disposizione rende possibile per la ragione di fare il passo ulteriore ad essa concesso e di dedurre con certezza l'esistenza di sè stessa e la determinazione di sè stessa, e conseguentemente l'assoluta infinità della realtà ultimissima di cui noi abbiamo di già imparato che la ragione, se pur non ne è il più alto aspetto, ne è peraltro quello più alto che possa forse diventare un oggetto di cognizione.

Noi abbiamo veduto che l'isolamento di un fenomeno, od anche di un gruppo di fenomeni, non può giammai essere completo, cosicchè quando noi scegliamo due fenomeni, o gruppi di fenomeni, e ne consideriamo uno come la causa dell'altro, una tale rappresentazione è necessariamente imperfetta, e può, nelle più favorevoli circostanze,

Digitized by Google

soltanto addurre ad una prima approssimazione verso una soluzione dei problemi della determinazione delle loro reciproche relazioni. La causa completa, perfino dei più semplici fenomeni, è niente di meno che il Tutto. Tali rappresentazioni parziali del principio di causalità non possono, quindi, fornire una base adeguata per le ampie generalizzazioni di un'inchiesta metafisica, ed il loro impiego per tali scopi è necessariamente illegittimo, e può essere ritenuto tale da condurre a contraddizioni apparentemente irresolvibili, ossia ad *antinomie* (1).

Una grandissima parte dell'immenso servizio reso dalla filosofia critica di Kant, come fu da lui formulata precipuamente nella *Critica della ragion pura*, sta nel modo incisivo col quale le *Antinomie della ragion pura* sono colà sviluppate col più vigoroso rilievo. Kant non ha giammai portato quest'argomento alla sua definitiva conclusione logica, ed è difficile di evitare il sospetto che egli debba essere stato stornato dal far questo per l'impossibilità di quella conclusione, che è niente di meno che un assoluto nihilismo filosofico, consistente nella negazione della possibilità di cognizioni d'ogni genere.

Fu definitivamente dimostrato da Kant che l'esistenza può soltanto significare esistenza per coscienziosità, l'esistenza non riferentesi ad un essere cosciente di se stesso essendo una pura vuota astrazione. Egli venne meno, tuttavia, nel percepire la relazione necessaria tra fenomeni e *numeni*, tra la realtà fisica e quella metafisica. Egli s'ingegnò di sfuggire dalla regione della *Ragione speculativa*, nella quale tutto appariva essere determinato da leggi esterne, le osservate leggi di natura a cui tutte le relazioni fenomenali trovansi essere soggette, salvandosi nella regione della *Ragione pratica*, la regione della libertà, e dell'auto-determinismo. Per effettuare questo egli utilizzava il principio che l'intelligenza consiste, non puramente nella coscienza, ma nella coscienziosità di se stesso. In virtù della prima essa è determinata esternamente, e così si crede di appartenere al mondo dei fenomeni; mentre in virtù dell'ultima essa è determinata da se stessa, e così possiede la coscienza di appartenere al mondo della libertà, al mondo dei numeni. Kant trova la base necessaria per stabilire la realtà della re-

(1) Una *antinomia* può essere definita come un paio di proposizioni mutuamente contraddittorie, ciascuna delle quali, quando considerata separatamente dall'altra, sembra essere dimostrabilmente vera.

Digitized by Google

gione della *Ragion pratica* nell'imperativo categorico della coscienza. La legge della coscienziosità morale apparirebbe essere in contraddizione diretta colla coscienziosità empirica di se stesso, ma essa non può, per quel riguardo, essere considerata come un'illusione, dacchè Kant aveva previamente dimostrato che la conoscenza di sè stesso, come oggetto di esperienza, non può essere legittimamente applicata al soggetto che conosce. L'obbiezione sul terreno del determinismo dei fenomeni è quindi rimossa dalla prova che chi conosce se stesso non è un fenomeno ma un numeno. La supremazia della ragion pratica è per tal modo stabilita, ed è trovato un posto per la libertà dell'intelligenza senza ricercare la verità del determinismo dei fenomeni.

Una tale correlazione delle ragioni della ragione speculativa e di quella pratica è, tuttavia, puramente superficiale e stabilisce solo una armonia esterna tra di esse, ed in realtà, implica l'impossibilità della loro vera unificazione. Vi rimane, quindi, un irreconciliabile dualismo tra l'intelligenza ed il mondo dei fenomeni.

Questo fu reso di gran lunga più evidente dal susseguente sviluppo dei due aspetti del sistema di Kant, da Fichte e da Schelling. Fichte nel suo tentativo di esaltare l'intelligenza a spese del mondo dei fenomeni, ridusse quest'ultimo ad una pratica non entità come un puro oggetto del pensiero creato da quello stesso. Schelling, d'altra parte, fu definitivamente condotto a respingere completamente l'idealismo, ed a ricercare l'ultimissima realtà in una unificazione della mente e della materia che fu raggiunta coll'ignorare praticamente le loro differenze; e questa ignoranza delle più fondamentali fra le distinzioni necessariamente implicò l'ignoranza di tutte le distinzioni. La realtà ultimissima era quindi ridotta, secondo la esposizione propria di Schelling, ad una « semplice indifferenza ». Questa dimostrazione completa della natura irreconciliabile del dualismo kantiano indusse Hegel a tentare l'unificazione reale della Natura e dell'Intelligenza col provare che il loro reale antagonismo è di per se stesso una manifestazione della loro unità e tale per conservare la libertà appartenente all'uomo come essere razionale e morale, non già col trasferirlo ad una regione oltre al dominio della necessità fisica, ma col mostrare che esso si realizza dentro quella stessa necessità ed attraverso a quella. Gli sviluppi divergenti del dualismo di Kant, di Fichte e Schelling avevano mostrato che esso poteva solo essere mantenuto col provare essere la mente la chiave della spiegazione dei fenomeni materiali. Un'analisi della mente, perfino più

Digitized by Google

fondamentale di quella compiuta da Kant fu quindi il primo punto essenziale per la soluzione del problema. La natura della chiave a questo primo grado della soluzione, sebbene scoperta da Hegel da un punto di partenza puramente metafisico, sarà più facilmente e completamente afferrata dallo studioso di fisica se quella natura è considerata dal punto di vista fisico, il quale è stato reso ora possibile dallo sviluppo della scienza.

Questo punto di vista è semplicemente il concetto della natura di causalità nella natura, vale a dire, nel mondo dei fenomeni, al quale concetto la scienza ci ha condotti, ed il quale io mi sono ingegnato di render piano per tutto il presente volume. Noi abbiamo imparato che l'antico concetto di una catena di causalità, che stabilisce una correlazione in un gruppo di fenomeni, che altrimenti sarebbero distinti fra di loro come in una serie lineare, è una rappresentazione troppo incompleta per tornar utile al disopra del primo stadio, pur necessario, della indagine scientifica, nel quale stadio noi andiamo ricercando una prima approssimazione alla relazione reale.

Il grande successo di Hegel fu di mostrare che la relazione causale esistente tra le categorie degli intelletti ha esattamente lo stesso carattere della legge di causalità ora nota per lo starsene salda nell'universo materiale della scienza fisica. La procedura impiegata, è analoga per ciascun rispetto a quella che noi abbiamo trovato essere richiesta nelle indagini della scienza fisica. Le parecchie categorie sono dapprima prese in considerazione, allo scopo di una prima approssimazione, come entità separate. È allora dimostrato che, sebbene questo stadio non possa essere scansato, esso adduce inevitabilmente a risultati contraddittori, i quali possono essere eliminati, o piuttosto risolti in verità più elevate, soltanto quando sia verificato che le differenti categorie non sono idee isolate e semplici strumenti del pensiero, ma sono elementi in una totalità complessa, o stadi in un processo complesso, e che la mente nella sua unità è essa stessa questa complessa totalità o processo complesso.

La logica di Hegel è sviluppata in tre stadii bene definiti e segnati. Il primo, partendo dalla categoria dell'Ente, è limitato alla considerazione delle categorie, le quali, sebbene implicitamente comprendendo la relatività, non la esprimono esplicitamente. Hegel paragona questa prima attitudine del pensiero colla coscienza pre-scientifica dei fenomeni naturali. Il secondo stadio, corrispondente alla coscienza

Digitized by Google

scientifica, o riflessiva, riguarda quelle categorie nelle quali la relatività è esplicitamente espressa. Nel terzo stadio, che corrisponde alla coscienza filosofica, Hegel aggiunge un nuovo genere ai generi inclusi nell'enumerazione delle categorie fatta da Kant, abbracciante le categorie dell'*Unità Ideale;* ed è allora dimostrato che tutte le categorie formano un sistema, o complesso, di transitorie esistenze essenzialmente affini, ciascuna delle quali esiste solamente come determinante del rimanente, ed essendo da quello determinata, in armonia colle leggi universali. Le categorie sono quindi, in definitiva, lasciate a definirsi di per loro stesse, semplicemente mediante il necessario movimento del pensiero attraverso a cui esse portano la mente, e si è quindi trovato che esse adducono all'idea di coscienziosità di sè stesso quale loro ultimissimo significato o verità.

L'intelligenza allora riconosce sè stessa nel mondo dei fenomeni collo scoprire che essa sta in un mondo di oggetti, ciascuno dei quali, e tutti, esistono solamente per quanto essi esistono per l'intelligenza, e per quanto l'intelligenza è rivelata o riconosciuta in quelli.

Tenta poscia Hegel, nella *Filosofia della Natura*, di provare che le leggi del mondo dei fenomeni sono, nel loro carattere essenziale, identiche colle leggi dell'intelletto, nel qual caso la Natura altrettanto quanto l'Intelligenza troverebbero l'ultimissima espressione nei termini di coscienziosità di sè stesso. In questo tentativo, devesi ammettere, io credo, che egli sia riuscito solo parzialmente; lo sviluppo della scienza fisica non essendo a quel tempo giunto ad un grado sufficientemente inoltrato per render possibile un pieno successo. Tuttavia, ammenochè la validità dell'argomento sviluppato in questo capitolo possa essere impugnata, il grado di sviluppo ora raggiunto dalla scienza fisica ha reso possibile di portare l'argomento di Hegel allo stadio finale di completa dimostrazione.

Dal punto di vista, al quale siamo pervenuti sin qui, l'intiero universo fisico della mente e della materia può essere paragonato ad un organismo vivente, di cui il principio centrale sia un Ente determinantesi da sè stesso. L'indipendenza dei costituenti di questo organismo non deve, tuttavia, essere tale da permettere qualsiasi soluzione di continuità tra l'uno e l'altro, il che distruggerebbe l'unità del tutto. Un tale universo apparirà sotto un aspetto come un'unità in cui non sia lasciato posto per differenza o per distinzione; sotto un altro aspetto esso apparirà peraltro di essere separabile in un numero indefinito di frammenti, ciascuno sem-

Digitized by Google

brando essere concentrato in sè stesso, o determinato da sè stesso. Questo è la concezione di Hegel dell'universo, ed in riferenza a ciò, il professor E. Caird osserva: (1) « Sotto una tale concezione l'usuale antitesi fra individualismo e panteismo ci vien meno, e la nostra idea del mondo sembra involvere entrambi ad un tempo, oppure mutarsi in una sorta d'alternazione tra di essi, tale com'è rinvenuta nel monadismo di Leibnitz, o nella teoria posteriore di Schelling, in cui tutte le differenze delle cose son dette essere « non qualitative, ma puramente quantitative », cioè essere differenze le quali dal più alto punto di vista potrebbero essere neglette come non essenziali. Tuttavia, questo sarebbe un dimenticare che sebben l'organismo sia organico in tutte le sue parti, ancora queste parti hanno la loro determinazione specifica, e che egli è attraverso questa determinazione specifica che esse formano una totalità. Ciò sarebbe un dimenticare che sebbene un principio auto-determinantesi necessariamente sia presente nelle sue determinazioni, e dia loro per tal modo una certa indipendenza, pure che esse a loro turno sono limitate in loro stesse, e solamente mantengono sè stesse per quanto il principio si realizza in loro, ossia in altre parole, come esse a loro turno cedono loro stesse alla vita della totalità. La capacità loro di cedere loro stesse, per dirla brevemente, è la misura della realtà loro. Così l'unità come un principio che determina sè stesso sta nelle differenze, ma essa sta pure nella negazione loro, mediante la quale esse passano oltre loro stesse come individui e così ritornano nell'unità ».

Noi vediamo che il concetto dell'ultimissima realtà qui sviluppato non è quello di un'unità da cui tutte le distinzioni, e quindi tutte le relazioni siano eliminate. Ora si vede che un'unità di quel genere è un'astrazione puramente vuota, cosicchè non vi è senso sia nell'affermarla, sia nel negarla. La dimostrazione di Kant, nella *Critica della Ragione pura*, che una simile unità non può essere nè affermata, nè essere negata è irrefutabile, e noi possiamo ora vedere che ogni altra conclusione sarebbe assurda. L'errore di Kant sta nella presunzione che la realtà definitiva s'abbia a ritrovare nella pura identità di sè stessa intieramente spoglia di differenze. Lo stesso concetto è riprodotto nello « inconoscibile » della filosofia di Herbert Spencer. L'ultimissima realtà

(1) *Hegel.* da E. Caird, p. 180.

Digitized by Google

di Hegel, la quale si vede al presente essere identica a quella indicata dalla scienza moderna, consiste in un'unità che determina sè stessa che si riconcilia ed include entro sè stessa tutte le diversità e le contraddizioni apparenti di entrambe le cose, Intelligenza e Natura. In luogo della relatività, che è esclusa dall'Assoluto, *tutto* relativamente è incluso entro esso, ma la sfera delle sue relazioni è intieramente contenuta entro sè stessa e determinata da sè stessa.

Sarà interessante conchiudere con un riferirsi brevemente ai più antichi di tutti i sistemi conosciuti di filosofia, la filosofia dei Veda, che forma la base essenziale del Bramanismo, e della sua grande diramazione, il Buddismo, e di notare come il suo metodo fondamentalmente differente di trattare lo stesso grande problema apporti un'ulteriore conferma della validità della conclusione alla quale noi siamo stati tratti. Partendo dal sistema di fenomeni della natura noi abbiamo drizzato all'insù i nostri passi verso il concetto dell'Assoluto come coscienziosità di sè stessa di una perfezione che noi possiamo soltanto afferrare sotto parziali aspetti limitati. L'Orientale studioso di filosofia si assoggetta ad un lungo ed aspro corso di allenamento corporale e mentale divisato per porre in grado gli elementi superiori dell'intelligenza di ottenere un imperio tanto sulle funzioni del corpo quanto sugli elementi inferiori dell'intelligenza stessa. Egli è con questo solo oggetto che il Bramino, dopo di aver adempiuto gli ordinari doveri di cittadino e della vita di famiglia, si ritira ad una vita di astinenza e di contemplazione, cercando di conoscere sè stesso, vale a dire, di giungere a quel più alto grado di coscienziosità in cui soggetto ed oggetto sono entrambi riconosciuti come essenzialmente uno solo, non solamente l'uno coll'altro, ma coll'Eterna Coscienziosità di sè stessa che costituisce l'ultimissima realtà conosciuta sotto il nome di Brahma. Quando questo è una volta avvenuto, l'Assoluto è riconosciuto essere la realtà essenziale in paragone della quale la più bassa realtà nel mondo dei fenomeni è soltanto un'illusione. Questa realizzazione implica necessariamente il riconoscimento della di lui propria vera personalità, libera nella visione mentale dal circostante ambiente fenomenale, dacchè è identificata colla superiore unità cosciente di sè stessa ed inclusa in essa ossia colla ultimissima realtà, di cui l'universo della natura è soltanto la manifestazione fenomenale. Il loro punto di partenza è la nostra meta.

La teoria dell'universo, qual'è indicata nei Veda e negli Upani-

Digitized by Google

schad (1), è sviluppata mediante un ragionamento puramente *a priori* dal concetto dell'Assoluto. L'Eterna Coscienziosità di sè stessa, nella libertà perfetta della sua assoluta spontanea determinazione, dapprima ha manifestato sè stessa nella forma di mente. Da questa prima manifestazione, quale mente, fu evoluta una seconda manifestazione nella forma di forza. La forza a sua volta diede origine all'etere in cui i vortici o « turbini », come li designano i Veda, furono formati, dando origine ad una serie di eteri di densità e complessità crescente. La materia, quale noi la conosciamo, era supposta essere derivata dal termine finale della serie di eteri, mediante un ulteriore aumento di complessità.

V'è poco a dubitare che le speculazioni dei Greci, riferite nel Capo IV, traessero l'origine loro da questa fonte, e che il sistema complesso di eteri della fisica speculativa anteriore a Newton, derivata direttamente dai filosofi Greci, fosse pertanto di origine Ariana. Questi eteri speculativi formavano una serie di pozzi assorbenti per smaltire ciascuna difficoltà fisica non spiegata, e furono solamente messi in disparte dalle indagini di Galileo, Huygens, Newton e dei loro successori. Non vi può esser dubbio che l'accettazione della teoria delle onde della luce fosse ritardata di almeno un secolo dai timori dei fisici minori per paura che la teoria dell'etere sviluppata scientificamente da Huygens dovesse condurre alla recrudescenza della nebbia miasmatica degli eteri complessi, che, speravano essi, era finalmente sparita dalla fisica seria. La teoria dell'etere adottata dal professor Hæckel nel *Problema dell'Universo*, la quale egli attribuisce ad uno scrittore moderno denominato Vogt, è null'altro che un ritorno a queste speculazioni già scartate, e non è suscettibile di qualsiasi relazione con una teoria seria

---

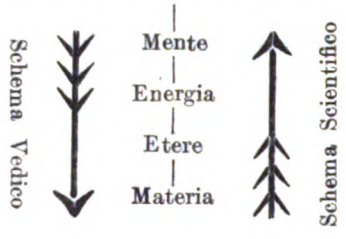
(1) Upanischad = Commentarî metafisici dei Vedas, generalmente ritenuti per eterodossi, a differenza dei Brahamanas, commentarî ortodossi. È specialmente negli Upanischad che il genio Indiano ha dispiegato tutte le sue sottigliezze nell'argomentare e nel tentare la soluzione del problema dell'universo. La dottrina ortodossa, sviluppata dai Brahamanas, dichiara che l'universo è la creazione di uno spirito superiore. Gli Upanischad sostengono che esso proviene da una sostanza primitiva. Gli Upanischad formano tutta una letteratura, che da tempi remotissimi si estende sino ai più recenti; il loro numero non è stato ben determinato. Finora se ne conosce un centinaio. Le teorie cosmogoniche svolte da questi libri sembrano essere quelle più favorite dai Buddisti. — (*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

scientifica. Ciò fornisce un notevole esempio di incongruità che il professor Hæckel debba sforzarsi di costrurre una teoria dell'universo, dalla quale l'intelligenza primaria abbia da essere esclusa, non sulla base dell'etere, quale è noto alla scienza, vale a dire, l'etere di cui le proprietà sono derivate dall'osservazione empirica; ma sopra una base puramente *a priori* di un etere pre-newtoniano, con proprietà dedotte mediante contemplazione introspettiva dal concetto dell'Eterna Coscienziosità di sè stessa come realtà ultimissima.

Sebbene lo schema Vedico dell'universo non sopporti, e non ci si potrebbe aspettare che fosse per sopportare, paragone particolareggiato con quello della scienza fisica moderna, la somiglianza dei loro larghi contorni è estremamente notevole, perfino a prima vista. Essa diventa ancora maggiore quando noi prendiam nota del fatto che il concetto Vedico molto indefinito, designato col termine di forza, corrisponde molto meglio al concetto moderno di energia che a quello di forza; e quando il termine energia vien sostituito a quello di forza, lo schema Vedico dello sviluppo diventa identico con il solo che esprima i più recenti svolgimenti di ricerche fisiche, cioè:

L'Assoluto, o l'Eterna Coscienziosità di sè stessa



Digitized by Google

APPENDICE *A*.

« IL PROBLEMA DELL' UNIVERSO »
DI HÆCKEL.

LA COSIDETTA LEGGE DI SOSTANZA (Capo XII).

« La *legge della persistenza* o *dell'indistruttibilità della materia*, stabilita da Lavoisier nel 1789, può essere formulata così: La somma di materia, che riempie l'intero spazio, è invariabile. .....Noi possiamo formulare la *legge della persistenza della forza* o *della conservazione dell'energia* in questo modo: La somma della forza che è all'opera nello spazio infinito e produce tutti i fenomeni è invariabile » (p. 208). « La fisica moderna segna una distinzione tra « forza » ed « energia », ma le nostre osservazioni generali al punto in cui siamo non abbisognano di riferirsi a quella » (pag. 218). « L'unità delle due leggi — ancora molto discussa — è espressa da molti scienziati, che sono convinti di essa, nella formola: « Legge della persistenza della materia e della forza.. In ultima analisi essa è trovata essere una necessaria conseguenza del principio di causalità » (pag. 219).

L'asseverare che l'espressione, assolutamente senza senso, di persistenza della forza sia equivalente al principio di conservazione dell'energia, dimostra che il professor Haeckel non apporta nel suo compito neppure la cognizione elementare di fisica che ci aspettiamo che possegga uno studente del primo anno, di modo che noi non siamo sorpresi di trovare che egli definisca l'energia come una forza che si muove (pag. 220). L'assurdità inerente all'ultima frase citata rende perfettamente chiaro che il professor Hæckel è altrettanto debole in filosofia quando nella fisica. Le di lui idee dell'etere, tolte da uno scrittore tedesco, non scientifico, sono esposte (pag. 222) come segue:

Digitized by Google

« In opposizione fondamentale colla teoria della vibrazione, o teoria cinetica di sostanza, noi abbiamo la « teoria moderna di condensazione », o la teoria *pyknotica* di sostanza. Essa è nel modo il più abile stabilita da J. G. Vogt (1), nella *Natura dell'elettricità e Magnetismo sulla base di un concetto semplificato della Sostanza* (1891). Vogt presume che la forza primitiva del mondo..... sia..... la condensazione di una semplice sostanza primitiva, che riempie l'infinità dello spazio come una continuità non interrotta. La sua sola forma meccanica inerente di attività, consiste in una tendenza alla condensazione o contrazione, che produce dei centri infinitesimali di condensazione..... Questi corrispondono in generale agli ultimissimi atomi separati della teoria cinetica; tuttavia essi ne differiscono molto considerevolmente in quanto ad essi si attribuisce sensazione e propensione (ossia movimento di volontà della più semplice forma), ossia *anime* in un certo senso, in armonia colla antica teoria di Empedocle dell'amore e dell'odio degli elementi ». Inoltre questi « atomi dotati di anime » non fluttuano nel vuoto spazio, ma bensì nella continua, estremamente attenuata sostanza intermedia, che rappresenta la parte non condensata della materia primitiva. Per mezzo di « costellazioni, centri di perturbazione, o sistemi di deformazione », grandi masse di centri di condensazione prontamente si congiungono in proporzioni immense, ed ottengono così una preponderanza sovra le circostanti masse. Mediante quel processo, la sostanza primitiva, che nel suo stato di riposo originale aveva la stessa consistenza media per tutta la sua massa, si divide o si differenzia in due sorta. I centri di perturbamento, i quali eccedono *positivamente* la consistenza media in virtù della *pyknosi* o condensazione, formano la materia ponderabile dei corpi; la sostanza intermedia più sottile, che occupa lo spazio tra quelli, e sta *negativamente* al disotto della consistenza media, forma l'etere, o materia imponderabile.

Quale conseguenza della divisione in massa ed etere ne proviene un'incessante lotta tra i due elementi antagonistici, e questa lotta è la fonte di tutti i processi fisici. La materia positiva ponderabile, l'elemento col sentimento di vita o di desiderio, va continuamente sforzandosi di completare il processo di condensazione, e raccoglie per

(1) L'opera di questo scrittore, come venne indicato a pag. 321, è basata sovra idee pre-newtoniane circa l'etere, intieramente non scientifiche.

Digitized by Google

tal modo un enorme ammontare di energia *potenziale;* la materia negativa, imponderabile, d'altro lato, offre una perpetua ed uguale resistenza, all'ulteriore incremento del suo storcimento e del sentimento di avversione a ciò connesso, e così aduna il massimo ammontare di « energia attuale » (pag. 223). « Secondo la mia propria opinione, e quella pure di molti altri scienziati, io devo stabilire le seguenti tesi, che sono involte nella teoria *pyknotica* di Vogt, come indispensabili per una veritiera veduta monistica della sostanza, e tale che copre il campo intiero della natura organica ed inorganica:

I. Le due forme fondamentali di sostanza, materia ponderabile ed etere, non sono morte e non sono mosse soltanto da una forza estrinseca, ma esse sono dotate di sensazione e di volontà (1) (sebbene, naturalmente, del più infimo grado): esse sentono una propensione per la condensazione, un'avversione per lo storcimento; esse si sforzano dietro la prima e lottano contro l'altro ». (pag. 224).

Un tale scritto richiederebbe il caustico brio del De-Morgan per farne giustizia, e ciò starebbe bene tra geniali vicinanze nel di lui *Bilancio di Paradossi*. Da tutta l'oscurità dell'Hæckel, due fatti, peraltro, devono emergere patenti per ciascun lettore. Lo stabilire che la materia non è mossa soltanto da una forza esterna sta in contraddizione diretta con ciascuna delle tre leggi circa il moto, di Newton, ed è quindi incompatibile colla base fornita dall'osservazione per la dinamica; ed un'ipotesi che assegna poteri mentali agli ultimissimi atomi, in tale flagrante disdegno di esperienza, fornisce una notevole esemplificazione dell'esposizione fatta a pag. 265, che il tentativo di ignorare lo schema mentale nello sviluppo di qualsiasi schema che tenti di spiegare l'ordine di Natura, si troverà invariabilmente nella necessità di essere introdotto in qualche travisato modo non scientifico.

---

(1) Il professor Haeckel c'informa in un'altra pagina che egli considera questa sensazione e volontà come inconscie; ma questo priva di significato quei termini, perchè egli è impossibile di attribuire un significato alle combinazioni di parole: *sensazione inconscia*, e *volontà inconscia*, tanto quanto sarebbe impossibile per le combinazioni: *circolo quadrato* e *quadrato triangolare*.

Digitized by Google

La legge di Entropia o di dissipazione di energia (Cap. XIII).

« Questa infinita ed eterna macchina dell'universo si mantiene in un movimento eterno e non interrotto, perchè ciascun impedimento è compensato da una « equivalenza di energia » e la somma illimitata di energia cinetica e potenziale rimane sempre la stessa. La legge della conservazione della forza prova altresì che l'idea di un *perpetuum mobile* è per l'appunto tale da essere applicata, e tale da avere un significato, per il *cosmos* nella sua totalità, altrettanto quanto riesce impossibile per l'azione isolata di qualche parte di quello. Donde deriva che la teoria dell'*entropia* non è verosimilmente sostenibile (p. 252) ». « Se questa teoria dell'entropia fosse esatta, noi dovremmo avere un « principio » corrispondente a questa presunta « fine » del mondo, — un *minimum* di entropia, in cui le differenze di temperatura delle varie parti del mondo sarebbero ad un massimo. Entrambe queste idee sono affatto insostenibili sotto la luce della nostra teoria monistica e consistente dell'eterno processo cosmogenetico; entrambe sono in contraddizione colla legge di sostanza. Non esiste nè principio nè fine del mondo » (pag. 253).

Il modo di Hæckel nel trattare il principio osservato della dissipazione di energia fornisce un altro esempio del notevole contrasto tra il di lui modo di vedere circa il valore delle ipotesi ed il punto di vista scientifico che io mi son provato di esporre chiaramente nel presente volume (vedere, ad esempio, pag. 245).

Hæckel non adduce l'argomento che la verità della legge dell'aumento di entropia era soltanto provata per la piccola porzione dell'universo accessibile all'osservazione, e che la sua validità per l'intiero universo non ne era la conseguenza necessaria, sebbene questo argomento sarebbe stato affatto legittimo nello stato delle cognizioni scientifiche dell'anno 1899, quando fu scritto il *Problema dell'Universo*. Egli semplicemente rigetta la legge osservata perchè essa contraddice le di lui ipotesi. Io darò due ulteriori estratti nei quali egli si riferisce a presunzioni puramente ipotetiche, quali decisive tra due vedute di natura in conflitto. Tal modo di vedere è ridicolo oltre ogni dire.

Digitized by Google

La teoria del carbonio e l'origine della vita (Capo XIV).

« Le caratteristiche proprietà chimico-fisiche del carbonio — e specialmente la fluidità e la facilità di decomposizione dei più elaborati composti albuminoidi del carbonio — sono le sole cause meccaniche dei fenomeni specifici di movimento che distinguono le sostanze organiche da quelle inorganiche, e che sono chiamate vita, nel senso comune della parola. Sebbene la « teoria del carbonio » sia vivacemente combattuta da alcuni scrittori, finora peraltro non è apparsa alcun'altra teoria monistica migliore di quella per spiegare la vita (pag. 262) ». « L'ipotesi della generazione spontanea e la teoria del carbonio ad essa collegata sono di grande importanza nel decidere il conflitto diuturno tra l'interpretazione *teleologica* (dualistica) e quella *meccanica* (monistica) dei fenomeni » (pag. 264).

Il concetto che Hæckel ha di un argomento logico, adatto per i lettori a cui quell'opera è indirizzata, è altrettanto strano quanto lo sono le di lui vedute circa l'oggetto e l'utilità delle ipotesi, ed è ugualmente strano il suo concetto della natura della logica. Io prenderò questo punto a svolgere per il primo.

« Ciò che noi chiameremo anima è, a parer mio, un fenomeno naturale; io considero quindi la psicologia come un ramo di scienza naturale, una sezione della fisiologia » (Capo VI, pag. 91).

« Il primo compito di ciascuna scienza è la chiara definizione dell'oggetto che essa deve investigare. In nessuna scienza, tuttavia, è così difficile questo compito preliminare come nella psicologia, e questa circostanza è la più notevole, dacchè la logica, la scienza del definire, è essa stessa una parte della psicologia ».

Come ci dice il professor Münsterberg, di Harward (*Psychology and Life*, pag. 37):

« Ci è stato detto che noi dobbiamo aspettarci di avere una precisa conoscenza dei fatti psichici dalla nostra conoscenza del cervello; ma qual cosa può esser conosciuta nel mondo meglio che gli oggetti della nostra immediata osservazione di noi stessi? L'osservazione e l'analisi dei nostri fatti mentali non si no per nessun modo dipendenti da un'ipotesi

Digitized by Google

circa all'anima; ciò forma l'oggetto il più diretto dell'attenzione nostra, e noi per tal modo conosciamo infinitamente di più circa i nostri fatti psichici che circa le funzioni del cervello. Perfino duemila anni fa i precipui fatti mentali erano ben noti, le quistioni le più fondamentali della fisiologia cerebrale ancor sono oggidì sottoposti a vivace discussione. Prima di tutto, la storia della scienza dimostra come nei tempi della cooperazione loro la psicologia abbia sempre avuto da dare e la fisiologia da ricevere, come dal lato dei ben noti fatti psicologici si abbia avuto a projettare luce sopra gli oscuri fatti fisiologici, e giammai in senso inverso. La conseguenza di questa situazione si è che i psicologi nella loro opera di analisi e ricerca nella costituzione dei fatti psichici non hanno la più tenue ragione per fare delle inchieste circa qualsiasi processo cerebrale concomitante; essi non possono imparare da quella parte cosa alcuna che essi meglio non conoscano dall'osservazione di loro stessi e dall'osservazione di altri ».

Lo stabilire che la psicologia è una sezione della fisiologia dimostra, quindi, che il professor Hæckel è fondamentalmente ignorante del significato di psicologia; ma che cosa siam noi per dire a mo' di conclusione derivante necessariamente da quei due postulati presi insieme, cioè che la logica è una parte d'una sezione della fisiologia ? Può egli esser ritenuto possibile il formulare un postulato che incorpori una maggiore assurdità ed una confusione maggiore? Come un esempio di ciò che è presentato come un argomento in questo lavoro, io prenderò il metodo di trattare l'immortalità dell'anima, la possibilità di cui il professor Hæckel ripetutamente asserisce che egli ha scientificamente confutato. Egli dapprima chiede, fra altre questioni, che cosa è realmente l'anima? Che cosa è la sua relazione colla mente? (Capo VI, pag. 94). Egli non tenta in questo capitolo di rispondere alla sua propria quistione, ma procede nel somministrare ai suoi lettori una falsa relazione della posizione di Kant così rozza che io posso supporre soltanto che la nozione che il professor Hæckel ha di quel grande pensatore sia stata derivata intieramente dallo studio di qualche articolo di rivista che dà una parodia dei di lui argomenti. Nel Capo VI, pag. 92, il professor Hæckel aveva promesso di dare la di lui dimostrazione nel Capo XI. Nel frattempo (Capo VII, pag. 111) egli definisce l'anima come un'astrazione, cosicchè la quistione della sua immortalità sarebbe una cosa priva di senso. Nel Capo XI egli dapprima presume esser quella una sostanza materiale, ed allora fa una serie di asserzioni che

Digitized by Google

egli descrive come una breve esposizione degli argomenti scientifici dell'anima. L'assoluta inettitudine del cosidetto argomento apparirà più chiaramente col riprodurre quanto egli espone, senza interruzioni di commenti ulteriori. Il primo paragrafo è la replica alla sua propria quistione della pag. 94.

« Le risposte a queste ed a molte altre quistioni analoghe sono infinitamente svariate: non sono solamente le vedute dei più eminenti pensatori su tali quistioni, che sono largamente divergenti, ma perfino la stessa autorità scientifica ha spesse volte mutato completamente le sue vedute nel decorso del di lui sviluppo psicologico..... Il più interessante esempio di un simile intiero cambiamento di opinioni psicologiche obbiettive e soggettive, si rinviene nel caso del più influente capo della filosofia germanica, Emanuele Kant. Il giovane, il Kant severamente *critico*, venne alla conclusione che i tre grandi sostegni del misticismo — Dio, libertà, e immortalità — erano insostenibili al lume della ragione pura; il più vecchio, il Kant *dogmatico*, ha trovato che queste tre grandi allucinazioni erano postulati della ragione pratica, ed erano, come tali, indispensabili » (pag. 94).

« Tutti i fenomeni della vita psichica sono, senza eccezione, collegati con certi cambiamenti materiali nella sostanza vivente del corpo, il *protoplasma*. Noi abbiamo dato a quella parte del protoplasma, che sembra essere l'indispensabile *substratum* della vita psichica il nome di *psicoplasma* (la sostanza dell'anima, nel senso monistico); in altri termini noi non attribuiamo qualsiasi essenza particolare ad essa, ma noi consideriamo la psiche essere puramente un'*idea collettiva di tutte le funzioni psichiche del protoplasma*. In questo senso l'anima è semplicemente un'astrazione fisiologica come l'assimilazione o la generazione ». (pag. III).

« Il concetto dell'anima come una sostanza è lungi dall'esser chiaro per molti psicologi; alcune volte essa è considerata come un'entità immateriale di uno speciale carattere in un senso astratto ed idealistico, e qualche volta come un terzo *quid* confuso tra i due. Se noi facciamo adesione all'idea monistica della sostanza... noi troviamo energia e materia inseparabilmente associate in essa. Noi dobbiamo quindi distinguere nella sostanza dell'anima la caratteristica energia psichica, che è tutto ciò che noi percepiamo (sensazione, presentazione, volizione ecc.), e la *materia* psichica che è la base indispensabile della sua attività, cioè il protoplasma vivente. Per tal modo negli animali più

Digitized by Google

alti la materia dell'anima è una parte del sistema nervoso; nei più bassi animali, cioè quelli senza nervi e nelle piante, essa è una parte del loro corpo protoplasmico pluricellulare; e nei protisti unicellulari essa è una parte del loro corpo protoplasmico mono-cellulare. In questo modo noi siamo tratti sempre di più agli organi psichici, e ad un apprezzamento del fatto che questi organi materiali sono indispensabili per l'azione dell'anima; ma l'anima stessa è *reale*, essa è la totale somma delle loro funzioni fisiologiche » (Capo XI, pag. 202).

« Quando noi veniamo ad analizzare tutte le differenti prove che sono state fatte valere per l'immortalità dell'anima, noi troviamo che non una sola di esse è di un carattere scientifico; ma non una sola è coerente colle verità che noi abbiamo imparate nelle ultime poche decadi dalla psicologia fisiologica e dalla teoria dell'evoluzione. La prova *teologica* che un creatore personale abbia insufflato un'anima immortale (generalmente tenuta in conto di una porzione dell'anima divina) nell'uomo è un puro mito. La prova *cosmologica* che l'ordine morale del mondo richieda la durata eterna dell'anima umana — è un dogma senza fondamento. La prova *teleologica* — che il più alto destino dell'uomo implichi il perfezionamento della di lui anima terrestre, difettosa, oltre la tomba, riposa sopra un falso antropismo. La prova *morale*, che le imperfezioni ed i desideri non soddisfatti dell'esistenza terrena debbano essere riparati da una giustizia compensativa dall'altro lato dell'eternità, è nulla più che un pio desiderio. La prova *etnologica*, che la credenza nell'immortalità, come la credenza in Dio, sia una verità innata, comune a tutta l'umanità, è un errore di fatto. La prova *ontologica*, che l'anima, essendo un'entità semplice, immateriale, ed indivisibile, non possa essere coinvolta nella corruzione della morte, è basato sopra una veduta dei fenomeni psichici intieramente erronea; essa è una illusione spiritualistica. Tutte queste e consimili prove di atanatismo sono in una pericolosa condizione; esse sono definitivamente annullate dal criticismo scientifico delle ultime poche decadi.

« L'estrema importanza del soggetto ci adduce ad opporci a queste non sostenibili prove di immortalità con una breve esposizione dei validi argomenti scientifici contrari a quella. L'argomento *fisiologico* dimostra che l'anima umana non è una sostanza indipendente, immateriale, ma, come l'anima di tutti gli animali più elevati, puramente un titolo collettivo per la somma totale delle funzioni cerebrali dell'uomo; e queste sono appunto determinate altrettanto dai processi fisico e

Digitized by Google

chimico quanto qualsiasi delle altre funzioni vitali, ed appunto come soggette alla legge di sostanza. L'argomento *istologico* è basato sulla struttura microscopica, oltremodo complicata, del cervello; esso ci fa vedere i veri organi elementari dell'anima nelle cellule ganglionali.

L'argomento *sperimentale* prova che le varie funzioni dell'anima sono collegate con certe parti speciali del cervello, e che non possono essere esercitate ove queste parti non si trovino in condizioni normali; se le aree rispettive sono distrutte, la loro funzione è estinta; e questo è specialmente applicabile agli organi del pensiero, i quattro strumenti centrali dell'attività mentale. L'argomento *patologico* è il complemento di quello fisiologico; quando certe parti del cervello (i centri della parola, della visione, dell'udito, ecc.) sono distrutti da infermità, l'attività loro (parola, visione, udito, ecc.) sparisce; in questa guisa la natura stessa compie da sè l'esperimento fisiologico decisivo. L'argomento *ontogenico* ci mette innanzi i fatti dello sviluppo dell'anima nell'individuo; noi vediamo come l'anima bambina gradatamente dispiega i suoi varii poteri; la giovinezza li presenta in pieno fiore, l'uomo maturo mostra il loro frutto maturo; nella vecchiaia noi vediamo la decadenza graduale dei poteri psichici, corrispondenti alla degenerazione senile del cervello. L'argomento *filogenetico* deriva la sua forza dalla paleontologia e dall'anatomia e fisiologia comparate del cervello; queste scienze, cooperando insieme e completandosi l'una coll'altra, provano esuberantemente che il cervello umano (e, per conseguenza, la sua funzione, l'anima) è stata evoluta passo passo da quella del mammifero, ed, ancor più addietro, da quella dei più bassi vertebrati.

« Queste inchieste, che potrebbero essere completate con molti altri risultati della scienza moderna, provano l'antico dogma dell'immortalità dell'anima essere assolutamente non sostenibile ».

Il lettore può vedere da sè che vi è qui nemmeno l'ombra di un argomento, ma semplicemente una serie di asserzioni che concludono con quella finale che la tesi è provata. Questi paragrafi sono riprodotti soltanto per illustrare la sorta di verbosità che Hæckel presenta ai suoi lettori come argomenti. Tuttavia non sarà male di paragonare colle asserzioni dell'ultimo dei biologi le parole di un altro di gran lunga maggiore. Huxley ci dice (1) che la scienza fisica « effettivamente

(1) *Science and Morals*, p. 143.

Digitized by Google

chiude le bocche a coloro che pretendono di confutare ciò (la continuazione dello spirito umano dopo la morte) mediante obbiezioni dedotte da dati puramente fisici ». Huxley, oltre all'essere un grande biologo, era un fisico ed un filosofo, mentre la biologia è il solo corredo di Hæckel.

Nel trattare la grave quistione del libero arbitrio, Hæckel non dichiara di offrire qualche argomento, ma si accontenta coll'asserire che la controversia è ora terminata completamente in favore dei deterministi, e che il libero arbitrio è stato confutato dalla fisiologia comparata e dall'evoluzione. La prima asserzione è contraria alla verità; la controversia infuria ancora come per il passato; la seconda asserzione è ovviamente assurda. I lettori che si diano pensiero ulteriormente di una seria critica del *Problema dell'Universo* possono ricorrere a due opere eccellenti: al piccolo volume di sir Oliver Lodge intorno a *Life and Matter*; ed a quello del rev. J. Gerard: *The old Riddle and the Newest Answer*, che può aversi in un'edizione popolare a 60 centesimi. Io posso quindi concludere col far osservare la doppia natura della mancanza di Hæckel. In primo luogo, in unione con molti altri abili artefici scientifici, egli ha fallito nell'afferrare il fatto che tutti i concetti quantitativi della scienza fisica sono semplificazioni in cui i fenomeni, come sono presentati alla nostra coscienza, sono artificialmente trasformati in elementi capaci di sviluppo logico nei modelli regolarmente operanti, e che perfino se questi modelli concettuali potessero essere tanto perfezionati da offrirci una rappresentazione, adeguata alla nostra intelligenza ed ai nostri poteri di osservazione, di tutti i fenomeni osservati, essi non potrebbero probabilmente provvedere una base per negare l'esistenza di reami al di là dei limiti loro. In secondo luogo, allo scopo di provvedere una più ampia base per i modelli fisiologici che egli è capace di trattare scientificamente, egli tenta di introdurre nei modelli formanti le rappresetnazioni dei fenomeni di fisica molare e molecolare, elementi che porrebbero gli interi modelli in iscompiglio, semplicemente perchè egli sta qui trattando soggetti dei quali la di lui cognizione è insufficiente per porlo in grado sia di formare un'opinione per se stesso, sia di far distinzioni tra le guide che sono competenti e quelle che nol sono.

Da un solo punto di vista il lettore troverà la seria considerazione del *Problema dell'universo* per nessun verso non istruttiva, e che è uno sforzo per scoprire la fonte delle peggiori incoerenze, ed un'inchiesta nelle modificazioni che devon'esser fatte nelle ipotesi di Haeckel a fine

Digitized by Google

di porle d'accordo coll'osservazione. Questa fonte è evidentemente la presunzione, che si contraddice da sè, di atomi che posseggono *volontà inconscia* e *sensazione inconscia*. Se un fisico volesse divertirsi col costrurre una sconclusionata teoria dell'universo sulla presunzione iniziale che *gli ultimissimi atomi sono dei cubi oltre ogni dire minutissimi, duri, sferici, morbidi, di immense dimensioni*, egli avrebbe un mondo di proprietà da dichiarare; e supponendo che i di lui lettori fossero sufficientemente non intelligenti per prendere sul serio il di lui iniziale assunto, egli avrebbe semplicemente da interessarsi nel tener divisi e bene in disparte gli uni dagli altri, quanto più gli riesce possibile, gli elementi che si contraddicono reciprocamente. Dove il loro accoppiamento fosse inevitabile, egli farebbe uso di lunghe, intricate frasi, traducendo una giusta proporzione di vocaboli in un qualche linguaggio che non sarebbe verosimilmente per essere famigliare alla più gran parte dei lettori suoi. Il professor Hæckel preferisce il greco per questo suo intento, e la reciproca incoerenza delle sue iniziali presunzioni lo obbliga di addottare tali artifizi collo scopo di costrurre qualche cosa che apparisca come un argomento. Egli non ha intenzione di condurre i di lui lettori a conclusioni non veritiere, poichè è perfettamente evidente che egli stesso è convinto della verità loro. Egli è, tuttavia, il più certamente non convinto dai suoi propri argomenti, ma lo è da altri mezzi affatto imperscrutabili. Conformemente a ciò egli s'ingegna di spingere i suoi lettori, ed apparentemente con molto successo, mediante tutto ciò che può esser fatto apparire simile ad un argomento, verso le conclusioni, che egli nella propria mente ritiene, con perfetta sua soddisfazione, essere quelle giuste. Ora poichè lo schema di Hæckel cade a pezzi intieramente se vengono abbandonate la sensazione e la volontà, noi dobbiam conservarle, ed abbandonare invece la qualificazione contraddittoria *inconscia* e rimpiazzarla con *conscia*. Questo rende evidente l'iniziale contraddizione di sè stesso fuori dello schema, e per la buona riuscita di esso sono richieste coscienza ed intelligenza di un grado molto più elevato di quanto lo siano quelle dell'uomo. Perchè gli atomi hanno un difficilissimo compito da eseguire. Sarebbe affatto abbastanza difficile se ad essi fosse richiesto soltanto di obbedire alle leggi dinamiche date dall'osservazione, perchè questo avrebbe necessità dell'esercizio, da parte di ciascun atomo, di tale potere di volontà da comportarsi precisamente come se esso (atomo) non possedesse nè volontà nè sensazione finchè non gli accada di trovarsi personalmente ad esser parte di

Digitized by Google

un qualche corpo vivente, quando egli può cominciare ad esercitare la sua volontà, nella dovuta cooperazione cogli altri atomi che costituiscono il corpo vivente, per modo di assicurare a quello tale prosperità come può essere conveniente per le sue circostanze. Lo schema di Hæckel, tuttavia, richiede un grado molto più elevato di intelligenza atomica, perchè gli atomi pure hanno da provvedere alla durata eterna dell'universo, mediante il loro contrapporrsi alla dissipazione di energia. Ora la dissipazione d'energia è vista mantenersi ai tempi nostri nella nostra parte dell'universo. La trasformazione di energia organizzata in energia non organizzata, nella nostra porzione dell'universo, deve quindi essere controbilanciata da una trasformazione esattamente uguale altresì di energia inorganizzata in altra organizzata. Gli atomi responsabili di questo pareggio devono pertanto possedere un'intelligenza collettiva dell'ordine che noi abbiamo trovato dover essere attribuito, come un *minimum*, alla mente universale. Secondo Hæckel, ciascun atomo ha da avere la stessa intelligenza, e quindi ciaschedun atomo nell'universo dev'essere accreditato del possesso del potere minimo che si è avuto da attribuire alla mente universale. Noi possiamo superare questa difficoltà col giovarci noi stessi della cognizione che tutti gli atomi sono tra di loro collegati attraverso all'etere, il che ci induce al concetto più semplice di una singola intelligenza che possegga questi poteri. Questo ci porta alla teoria che io ho esposta nel Cap. XVII. Vale a dire, l'alterazione minima nello schema del professor Hæckel, la quale è necessaria per ridurre quello ad una logica coerenza con se stesso e in armonia coll'osservazione, lo trasforma nella teoria colà presentata.

Digitized by Google

APPENDICE *B.*

Un semplice esperimento di trasferimento del pensiero, ed una ipotesi colla quale esso può esser spiegato.

L'esperimento fu fatto a casa mia; le sole persone presenti, e le quali tutte presero parte ad esso, essendo mia moglie, la di lei sorella, e una delle mie figliuole. È stato stabilito nella *Legge dei fenomeni psichici di Hudson*, che tra una mezza dozzina di persone è affatto verosimile trovarsene una capace di dire il nome di una carta scelta dalle altre. Il procedimento suggerito si è che, dopochè una carta è stata scelta in assenza del proposto lettore di pensiero, tutti dovrebbero congiungere le mani in catena, e tutti, eccetto l'ultimo, il quale naturalmente non conosce la carta scelta, dovrebbero formarsi, quanto più fortemente è loro possibile, una rappresentazione mentale della carta, e dovrebbero sforzarsi di conservare costantemente fissa la loro attenzione su quella. Questa regola è stata dichiarata notevolissima, se vi era qualche verità in essa, e la mia figliuola era ansiosa di tentare quell'esperimento. Io acconsentii alla dimanda sua che io dovrei tentare di nominare in questo modo una carta, che gli altri fossero per scegliere in mia assenza, sebbene io non m'aspettassi un risultato favorevole. Io lasciai la camera mentre la carta veniva scelta, di poi mi sono seduto in un seggiolone, mi collegai nel circolo, chiusi i miei occhi per impedire ogni distrazione proveniente dagli oggetti esterni, e concentrai la mia mente sopra l'idea di ricevere l'impressione. Dopo un po' di tempo, la lunghezza del quale non fu notata, mi parve di vedere presentato alla mia mente, una impressione assai poco distinta di una superficie bianca, con una macchia centrale più scura, ma senza colore. Nè la superficie intiera, nè quella della macchia presentavano alcun contorno distinto, ma dalle dimensioni della macchia io conclusi che, se essa significava qualche

Digitized by Google

cosa, ciò doveva esser l'asse di picche, e chiesi dubbiosamente se quella fosse la carta scelta. Essa era invece l'asse di cuori.

Ora la sola caratteristica nell'impressione era la singola macchia centrale, e quindi a me parve che l'errore potesse non inverosimilmente esser preso per un parziale successo, e fu quindi determinato di ripetere l'esperimento e questa volta noi tutti ci cullavamo nell'idea della possibilità definita di un risultato favorevole. Il procedimento fu come prima, eccettochè io decisi questa volta di non tentare di formarmi un'idea definita di ricevere un'impressione mentale di una carta, ma semplicemente di escludere, per mezzo della concentrazione della volontà, tutte le ordinarie percezioni dei sensi, ed anche di inibire ad ogni pensiero di sorgermi nella mente. Tostochè questo fu completamente effettuato io cominciai a vedere delle deboli immagini, ma distintamente riconoscibili di quattro carte diverse che apparivano simili a projezioni dissolventi malamente a fuoco, fuggevoli alla visione, or sì or no. Queste carte erano il fante, il nove, il cinque ed il tre di quadri. Siccome io abbisognavo di una sola e non di quattro carte, io aspettai pazientemente senza permettere che queste immagini passeggiere mi cagionassero distrazione oppure dessero origine a riflessioni. Poco dopo io vidi un'immagine perfettamente distinta, simile ad una projezione fissa ben a fuoco, del tre di quadri in una carta dai contorni chiaramente definiti; ma i quadri, invece di essere in una linea verticale, formavano i vertici di un triangolo equilatero. Quest'immagine fu di nuovo respinta, quale non rappresentante una qualsiasi carta nota, e fu istantaneamente rimpiazzata, come una diapositiva vien projettata ben a fuoco in luogo dell'altra, da una immagine ugualmente distinta del tre di quadri, il quale si verificò essere la carta scelta. Sebbene tutti i contorni delle carte e dei punti, e le marche sul fante fossero perfettamente leggibili per tutto il secondo esperimento, non vi era segno di colore, la sola impressione ritenuta essendo quella di una pittura monocroma.

Lo spiegare l'intrusione delle altre diverse carte di quadri, sopra menzionate non è la meno interessante caratteristica dell'esperimento. Ciascuno di coloro che le sceglievano aveva primieramente proposta una di queste carte, e tra di essi fu deciso in fine di respingere le tre prime scelte, e di accordarsi sopra una quarta, e divenne pertanto affatto evidente che l'intrusione di quelle tre era dovuta al fatto che ciascuno dei sceglitori lasciava oscillare la sua attenzione tra la scelta di prima e quella finale. Egli è degno di nota, ma non è un fatto del quale mi

Digitized by Google

venga in mente una qualsiasi spiegazione, che per tutto il tempo che le quattro immagini continuavano ad alternarsi non vi era distinzione percettibile nella nettezza in favore del tre di quadri, e che non si tosto che questo tre divenne nettamente definito le intrusioni delle altre cessarono intieramente. Quando io ho fatto menzione del primo apparire del tre di quadri, disposto a mò di triangolo, la mia cognata dichiarò che, trovandosi essa non capace di tener fissa in mente una chiara rappresentazione della carta, essa aveva concentrato il suo pensiero sopra un ciondolo di diamanti (1) con tre diamanti disposti a triangolo. Pur anche le immagini relativamente indistinte, vedute da me quando le quattro carte di quadri andavano presentandosi in successione irregolare, rassomigliavano ad immagini visuali definite totalmente differenti da pitture ricordate mentalmente.

Questi particolari mi sembrano eliminare completamente la possibilità che il risultato sia semplicemente dovuto ad una coincidenza. La pura selezione di una carta scelta correttamente tra cinquantadue avrebbe soltanto la probabilità di una contro cinquantuna avverse a quella; ma perfino se io avessi conosciuto anticipatamente, ciò che io non conobbi, che vi erano quattro carte in questione, ed una da esser specialmente scelta tra quelle, le probabilità contrarie alla divinazione corretta delle quattro e la scelta precisa di quell'una tra di esse, sarebbero state all'incirca pari a venticinque milioni contro una. Inoltre, l'ipotesi dell'indovinare felicemente non spiegherebbe ancora le impressioni visuali osservate.

Io tentai di far seguire a questa esperienza un'altra in cui l'oggetto fosse solamente pensato (un battello), e le mani non fossero congiunte in catena. Questa esperienza fu assolutamente senza esito felice, ma la mancanza di successo poteva non esser ritenuta quale apportatrice di un apprezzabile sostegno all'ipotesi, che sembra essere molto generalmente accolta, che il trasferimento del pensiero sia agevolato dal contatto corporeo, poichè la mancanza d'un buon successo può esser stata dovuta a ben altre cause.

---

(1) Le carte dette *quadri* diconsi in inglese: *diamonds*, la qual parola significa pure *diamanti* o brillanti; donde l'analogia mentale tra il ciondolo di tre *diamonds* e la carta omonima, che sarebbe da noi il tre di *quadri*.
(*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

L'assenza di colore nelle immagini visuali sembra essere un punto degno di attenzione, in considerazione specialmente di esperimenti fatti dal Capitano Abney (1), che lo indussero a concludere che lo stimolo richiesto per produrre colore è di un ordine completamente diverso da quello che si richiede per produrre luce.

La stretta rassomiglianza delle impressioni mentali colle immagini visuali suggerisce l'idea che quelle sieno dovute a qualche sorta di radiazioni emesse dai cervelli di coloro che stavano concentrando la loro attenzione sopra l'immagine che essi desideravano di trasmettere. Delle onde elettriche d'una frequenza molto più alta, oppure molto più bassa, di quella delle onde luminose sarebbero capaci di attraversare le palpebre chiuse od il cranio, od altre sostanze materiali, senza destare una risuonanza sensibile, e quindi senza assorbimento.

Ora l'esistenza di radiazioni non luminose di bassa frequenza, capaci di attraversare oggetti materiali di non troppo grande spessore, senza assorbimento sensibile, e capaci di produrre certi effetti visivi, e che tra numerose altre fonti, sono pur note per esser emesse dal cervello e da altre parti del corpo, è un fatto osservato. Dei raggi susseguentemente trovati possedere queste caratteristiche furono scoperte da R. Blondlot nel 1893 nella radiazione di un tubo *focus* impiegato per la produzione di raggi Röntgen. Essi furono osservati nel fascio di radiazioni di cui gli ordinarii raggi luminosi sono stati assorbiti mediante l'assorbimento loro nel passare del fascio attraverso uno schermo di carta nera. Blondlot li denominò raggi N, e li trovò capaci di attraversare legno, metalli ed altre sostanze. Io ne parlerò come di raggi Blondlot. Egli li ha pure osservati nelle radiazioni provenienti da varie sorgenti di luce, come la lampada Nernst, un becco di gaz Auer, e persino un ordinario becco di gaz ad anello. I raggi Blondlot aumentano la luminosità del solfuro di calcio e di altri schermi fosforescenti, che sieno stati previamente esposti alla luce solare; e quando sono fatti urtare contro una piccola fiamma o scintilla, o contro un filo od una lamina di platino roventi, essi ne aumentano pure la luminosità. Quest'aumento è stato osservato altrettanto sul lato della lamina più lontano dalla sorgente dei raggi, quanto su quello più vicino ad essa, sebbene la lamina fosse di uno spessore sufficiente per assorbire la radia-

(1) *Phil. Trans.*, 1897, A., p. 176.

Digitized by Google

zione, quando essa era fredda. Delle osservazioni delicate dimostrarono che non vi era aumento nella temperatura della lastra, dovuto all'urto dei raggi, cosicchè essi erano in grado di attraversarla soltanto quando essa era rovente. Gli effetti erano minutissimi e richiedevano un tempo percettibile per il loro sviluppo. Si trovò pure che il potere di osservarli variava grandemente colle differenti persone, alcune essendo affatto incapaci di scoprire del tutto un effetto qualsiasi. Quando i raggi erano concentrati per mezzo di una lente di quarzo, i loro effetti rimanevano visibili per una ventina di minuti dopochè la sorgente di luce da cui essi emanavano era stata spenta, dimostrando così che il quarzo era divenuto una sorgente di radiazioni secondarie. Si trovò che varii metalli assorbivano ed emettevano raggi Blondlot in un consimile modo. Quando si facevano percotere i raggi sul bulbo dell'occhio in una camera scarsamente illuminata, si trovò che essi aumentavano la visibilità degli oggetti nella camera, sebbene i raggi non fossero lasciati pervenire in questa. Il loro effetto era quindi di accrescere la sensibilità dell'occhio per la luce ordinaria. Si trovò pure che questo effetto richiedeva del tempo per svilupparsi, a cagione dell'assorbimento dei raggi dall'occhio e per la loro susseguente emissione, come fu dimostrato da esperimenti sull'occhio di un bue che era stato ammazzato il giorno prima. Quando del legno, del vetro, del caucciù ed altre sostanze venivano compressi in uno strettoio si trovò che essi emettevano raggi Blondlot; ed i corpi in uno stato di tensione interna, tali come l'acciaio temprato, lo zolfo cristallino solidificato, provvedevano una sorgente permanente di questi raggi. Per esempio, un coltello del XVIII secolo che era sempre stato posseduto dalla famiglia del signor Blondlot sin da poco tempo dopo la sua fabbricazione, e che non era mai stato di nuovo temprato, si trovò che emetteva questi raggi. Consimili effetti furono prodotti temporaneamente col piegare una striscia di ferro. Blondlot non fu in grado di ottenere qualsiasi effetto fotografico da quei raggi, e le di lui indagini circa le loro proprietà fisiche lo indussero alla conclusione che essi consistessero di onde elettriche di maggior lunghezza d'onda, e quindi di più bassa frequenza, che le onde luminose visibili (1).

(1) R. BLONDLOT, *Comptes rendus*, vol. CXXXVI, 1903, p. 735, 1121, 1227, 1421; vol. CXXXVII, 1903, p. 167, 686, 728, 831, 962.

Digitized by Google

L'interesse destato dalle ricerche di Blondlot indusse numerosi osservatori a tentare di investigare la natura; ma molti di essi non ebbero la fortuna propizia nell'ottenere un qualsiasi risultato, il che indusse alcuni di essi a considerare gli effetti surriferiti come allucinazioni da parte di quelli che erano riusciti. Alcune delle più interessanti fra le osservazioni coronate da esito felice furono quelle fatte da A. Charpentier, il fisiologo, il quale pel primo avvertì che l'effetto dei raggi Blondlot urtanti sopra uno schermo fosforescente era apparentemente accresciuto dall'avvicinarsi del corpo umano, e specialmente di un muscolo o di un nervo, e che l'effetto era ulteriormente aumentato dalla contrazione del muscolo o dall'eccitamento del nervo. Gli effetti si videro persistere dopo l'interposizione di un sottile schermo di alluminio, il che mostrò che essi non erano dovuti ad innalzamento di temperatura, e Charpentier trovò tosto che gli effetti osservati erano dovuti all'emissione di questi raggi dal corpo. Un certo numero di esperimenti con felice risultato furono fatti su conigli e su rane, e fu trovato che i raggi d'origine fisiologica erano per tutti i versi identici con i raggi Blondlot ottenuti dalle sorgenti previamente note. Non si è potuto scoprire emissione alcuna di raggi nella contrazione di un tendine, ma fu osservata nella compressione dei sostegni e di altre parti ossee. La presenza in queste ultime di numerosi nervi e la loro relativa scarsità nei tendini ci fornisce una spiegazione. Quando la compressione è stata continuata a lungo fu trovato diminuire l'emissione di raggi. Il centro di Broca, il centro nervoso del cervello, che è considerato come la sorgente della parola articolata, fu trovato possedere poteri emissivi eccezionali, ed un aumento fu trovato aver luogo nell'emissione quando la persona sotto esame stava parlando. Charpentier credeva pure che egli era in grado di scoprire un aumento nell'emissione dai centri nervosi cerebrali come una conseguenza di qualsiasi lavorio mentale, tale come la concentrazione dell'attenzione sopra un qualche oggetto. Egli trovò pure che i raggi Blondlot davano origine ad un incremento di sensibilità nel senso dell'olfatto quando quelli erano fatti percuotere sia nelle nari, sia sopra le soluzioni odorose impiegate nelle esperienze. Quest'ultimo effetto era indubitatamente dovuto all'assorbimento ed alla susseguente emissione delle radiazioni dalle particelle. Si è pur verificato che la sensibilità dell'orecchio all'udito era accresciuta dall'urto dei raggi Blondlot, sull'orecchio, od in prossimità dello stesso; il cozzo

Digitized by Google

essendo probabilmente, come Charpentier osserva, del massimo effetto sopra il nervo auditivo (1).

È stato dimostrato da E. Meyer (2) che la compressione provoca l'emissione dei raggi Blondlot nel caso delle piante, e che l'effetto è diminuito colla somministrazione di cloroformio o di altro anestetico. T. Becquerel (3) trovò che l'emissione dal solfuro di calcio o dalla sabbia di quarzo che è stata previamente esposta alla luce del sole era dapprima momentaneamente aumentata, e di poi gradualmente diminuita, definitivamente sino ad estinzione, mediante l'applicazione di cloroformio ed altri anestetici. L'emissione riappariva quando il vapore anestetico era dissipato da una corrente di aria. I risultati di Charpentier furono confermati dalle indagini di G. Ballet (4), il quale scoprì che l'emissione dei raggi Blondlot veniva notevolmente diminuita da certe condizioni patologiche dei nervi e dei muscoli, come per esempio in casi di atrofia, e generalmente nei casi di paralisi. Tuttavia la paralisi isterica fu trovata accrescere l'emissione. A. Broca (5) riuscì ad assegnare il posto di certe parti del cranio di uomini e di cani semplicemente da osservazioni sull'emissione di raggi Blondlot.

I lettori, i quali fossero desiosi di spingere le loro ulteriori indagini su quest'argomento, troveranno delle referenze a molte altre ricerche sui raggi Blondlot, elencate sotto il titolo « *Rayons N* », nei volumi dei *Comptes Rendus* degli anni 1903 e 1904. (6) L'evidenza data qui, secondo

---

(1) A. Charpentier. *Comptes rendus*, vol. CXXXVII, 1903, p. 1049, 1277; vol. CXXXVIII, 1904, p. 584, 648.

(2) *Idem*, vol. CXXXVIII, p. 101.

(3) *Idem*, p. 1159.

(4) *Idem*, p. 524.

(5) *Idem*, p. 1161.

(6) Oggidì l'opinione più generalmente diffusa fra gli scienziati non è decisamente favorevole all'esistenza dei raggi N, quali essi sarebbero stati studiati e descritti da scienziati francesi, specialmente dell'università di Nancy (donde il nome di N imposto a quei raggi dal prof. Blondlot). È tuttavia probabile che gli studi fatti accennino ad una qualche verità ancora travisata. Poichè, frammezzo alle poche serie di radiazioni, che sono conosciute, esistono delle immense lacune (ad es., quella interposta tra l'estremo ultra-viola, della frequenza di 750 trilioni, ed i raggi X o Röntgen, della frequenza calcolata di 3 quintilioni) ed in quelle lacune potrebbero trovar posto le serie di radiazioni fisiologiche a noi tuttora ignote.

(*Nota del traduttore*).

Digitized by Google

la mia opinione, sorregge fortemente l'ipotesi che io ho suggerita per spiegare il fenomeno della trasmissione del pensiero. Questa trasmissione del pensiero per mezzo di rappresentazioni visuali dirette è un metodo di comunicazione di gran lunga più semplice, e quindi secondo ogni probabilità, un metodo maggiormente primitivo, di quanto sia quello del discorso articolato; e sembra a me altamente probabile che esso sia una facoltà umana molto più antica che la parola, e che è divenuta gradatamente quasi estinta, a cagione della sua sostituzione da quest'ultima. L'ipotesi della sua conservazione, ad ogni modo almeno tra qualche individuo, da tribù non civilizzate, nell'interno dell'Africa, per esempio, darebbe una spiegazione della straordinariamente rapida trasmissione delle informazioni attraverso a lunghe distanze, la qual cosa è apparsa come un mistero alla maggior parte degli esploratori dell'Africa. La stessa ipotesi fornisce una spiegazione molto più probabile della comunicazione che Lord Avebury ha dimostrato essere effettuata dalle formiche, apparentemente per mezzo del contatto delle antenne, che non quella spiegazione che attribuisce alla formica l'intelligenza richiesta per inventare un codice di segnali. Io sono del parere che una tale ipotesi fornirebbe più d'una plausibile spiegazione per molti dei misteri di comunicazioni tra animali, tali per esempio, come le evoluzioni simultanee di grandi stormi di uccelli, e spiegherebbe soddisfacentemente molte delle azioni, altrimenti non spiegabili, delle ordinarie api del miele (1).

Inoltre, se animali conservano tali poteri, mentre noi li abbiamo quasi interamente perduti, egli sembra probabile che i nostri pensieri, specialmente quando rappresentano una volontà concentrata, sarebbero capaci di una visuale rappresentazione nelle menti loro, e questo spiegherebbe semplicissimamente molti esempi, altrimenti senza spiegazione, del corrispondere degli animali domestici ai voleri apparentemente non espressi dei rispettivi loro padroni. La semplice menzione di tali esempi come la simpatia tra il cavallo ed il suo cavaliere o tra il cane ed il suo padrone richiamano alla mente degli amatori di questi animali una folla di consimili esemplificazioni.

(1) Vedere, ad esempio, MAETERLINCK, *La vie des abeilles*.

Digitized by Google

APPENDICE C.

Trasmutazione di elementi.

Nell'intento di fornire ai lettori di questa versione italiana dell'opera del prof. De Tunzelmann, le ultimissime notizie relative alla *trasmutazione di elementi*, il traduttore, il quale ascrive a sua fortuna d'aver potuto assistere il 2 giugno 1913, alla conferenza tenuta da Sir William Ramsay alla presenza di S. M. il Re d'Italia, e di molte notabilità scientifiche nell'Istituto Chimico di Roma, ha cercato di presentare qui in riassunto lo stato attuale della questione, come fu esposta dall'illustre conferenziere.

Il traduttore assume quindi la piena responsabilità di quest'appendice; essa è stata per altro autorizzata dal prof. De Tunzelmann, ed, indirettamente, anche da Sir William Ramsay.

Per maggior intelligenza dell'argomento premettiamo alcune osservazioni preliminari. — Ognuno conosce il significato delle formole chimiche, ed ognuno sa che scrivendo anche la più semplice equazione, come quella che indica la formazione dell'acqua, sotto la forma: $H_2 + O = H_2O$, resta inteso che il simbolo H_2 significa 2 atomi di idrogeno di peso at. 1, ed il simbolo O significa 1 atomo di ossigeno di peso 16, i quali elementi, riuniti insieme in tali proporzioni, possono dare origine ad una molecola d'acqua, di peso 18. — Ma, non gran tempo addietro, nessuno avrebbe osato applicare una tale notazione nel senso che un elemento di peso p, più un altro elemento di peso q, ne formassero un terzo di peso $(p + q)$. Soltanto pochi anni fa Sir William Ramsay ed i suoi collaboratori ne diedero il primo esempio, nello studiare la desintegrazione del radio; essi trovarono che:

Digitized by Google

radio (peso atom. 226) — elio (peso atom. 4) = niton (peso atom. 222).

Da studi ulteriori il Ramsay dedusse vari casi nei quali verosimilmente a quella prima equazione altre consimili potrebbero essere aggiunte. Noi qui le trascriviamo annotando, per maggior evidenza, il peso atomico complessivo sotto a ciascun elemento.

I.	Radio	— Elio	= Niton	
	(226)	(4)	(222)	
II.	4 Idrogeno	= Elio		
	(4)	(4)		
III.	4 Idrogeno	+ Ossigeno	= Neon	
	(4)	(16)	(20)	
IV.	Solfo	+ 8 Idrogeno	= Argon	
	(32)	(8)	(40)	
V.	Selenio	+ 4 Idrogeno	= Krypton	
	(79)	(4)	(83)	
VI.	Tellurio	+ 4 Idrogeno	= Xenon	(?)
	(127,5)	(4)	(131,5)	

Affrettiamoci a dichiarare che quest'ultima equazione è semplicemente ipotetica. Quanto alle altre, esse non sono state date senza riserva, poichè non sono state ancora sufficientemente provate da ripetuti esperimenti.

Il conferenziere, dopo di aver esordito accennando ai precedenti storici circa l'elio, fa osservare come esso sia molto diffuso in natura. Esso si trova, quale prodotto degli elementi radio-attivi, nelle roccie, e nelle acque minerali, e sfugge continuamente dal suolo, essendo un gaz inerte, e quindi, come l'argon, non soggetto a combinazioni.

Nell'atmosfera si trova nelle proporzioni volumetriche di 5,4 sovra un milione. Ma essendo desso uno degli elementi più stabili, più leggieri, e più gazosi, attraversa l'atmosfera e sfugge nello spazio; però la proporzione sua nell'aria è mantenuta dalla continua produzione terrestre.

L'elio è pure uno dei gaz più permanenti, cioè dei più difficili a liquefare. Vi pervenne peraltro il signor Kammerlingh Onnes, il quale ottenne, mediante quello, di raggiungere delle temperature prossime allo zero assoluto. Giova ricordare ancora l'identificazione degli atomi di elio con le particelle α, fatta da Rutherford.

Digitized by Google

Gli studi compiuti dal Ramsay, o solo o coll'aiuto di collaboratori, sull'emanazione del radio, da lui denominata « niton », furono molti ed esaurienti.

Egli determinò il volume preciso di *niton*, fornito da un peso dato di radio in un dato tempo; quindi ne studiò e ne fotografò lo spettro.

Lo liquefece ed ottenne un liquido incoloro per trasparenza, ma per luce riflessa d'uno splendore viola brillante, dovuto alla fosforescenza del vetro che lo contiene.

Ottenne di congelarlo per mezzo dell'aria liquida: e la fosforescenza si trovò aumentata di molto; al microscopio il *niton* solido presenta l'aspetto d'un piccolo arco elettrico di vivacissimo splendore, che giustifica il nome assegnatogli.

Debierne paragonando la velocità di diffusione del *niton* con quelle di altri gaz in condizioni analoghe ne aveva dedotto un peso atomico di circa 220.

Ma il Ramsay, ed i suoi coadiutori, per mezzo di ricerche accuratissime, ottennero un peso atomico prossimo a 223. Il peso atomico del radio essendo pressocchè 226 (1), deducendone un atomo di elio, che esso perde, il *niton* deve risultare del peso di 222, o poco più, assai prossimo cioè a quello ottenuto.

Il Ramsay non si tenne pago; e prima d'aprire il tubo contenente il *niton*, lasciò questo, dal luglio 1910, sino all'ottobre, a convertirsi in elio e radio D. Quest'ultimo ha un semi-periodo di vita di circa 16 anni, e può quindi essere considerato come permanente durante le ulteriori operazioni di misura.

Il Ramsay potè adunque determinare, colla precisone di circa tre milionesimi di milligramma, la trasmutazione completa del *niton* in elio puro ed in radio D, colla proporzione di tre atomi di elio (ossia tre particelle α) per ogni atomo di *niton* che si desintegra.

Dopo tale scomposizione spontanea di un elemento in due altri con una enorme perdita di energia, è parso al Ramsay che fosse possibile il supporre che aggiungendo energia ai ben noti elementi si potesse giungere a spezzare le loro molecole ed ottenere altre specie di materia. È vero che la desintegrazione del radio è un fenomeno esotermico, e per conseguenza la formazione sua dev'essere endotermica; d'altronde è presumibile che la maggior parte degli elementi, come pure la massima

(1) Più precisamente 226.45, secondo Curie.

Digitized by Google

parte dei composti, siano esotermici, e che quindi, per scomporli, occorra fornir loro dell'energia.

La forma più concentrata di energia, che sia conosciuta, è quella di un atomo di elio allo stato di raggio α, di cui la velocità corrisponde all'incredibile temperatura di $(6{,}5 \times 10^{10})^{\circ}$ C, ossia sessantacinquemila milioni di gradi.

Una tale molecola, attraversando soli 7 centim. di aria, alla pressione normale, fa circa 450.000 collisioni colle molecole di ossigeno e di azoto, supponendo che il raggio di una molecola sia 1×10^{-8} cm. — Occorre pensare che l'atomo di elio attraversa la molecola d'aria come una palla attraversa un bersaglio. Durante il passaggio di quello accadrà frequentemente che un elettrone sia spostato: che esso abbandoni la molecola a cui era attaccato lasciandola per tal modo nello stato di jone. Ecco un cambiamento riversibile; concesso un tempo sufficiente, avviene una nuova combinazione tra jone ed elettrone; e la molecola è ricostituita. Ma può arrivare che la collisione abbia luogo tra un atomo di elio ed un jone; ed allora appare esser molto probabile che se un jone avesse a perdere un secondo elettrone la sua natura chimica dovrebbe mutarsi: cioè avrebbe luogo una trasmutazione. Per questo l'incontro tra l'atomo di elio e la molecola urtata deve essere centrale. È verosimile che almeno uno scontro su 8000 sarebbe centrale: l'atomo urtato sarebbe in tal caso tanto cambiato che non potrebbe mantenere la propria struttura; ne risulterebbe una specie di jonizzazione del nocciolo della molecola; un cambiamento irriversibile, vale a dire, una trasmutazione. Occorre ora ricercare se esistano delle evidenze per corroborare questo modo di considerare i fenomeni.

Ora l'evidenza sperimentale ripetuta è un'approssimazione alla certezza: giova quindi esporre le esperienze compiute in quell'ordine di idee sovra esposte, dal Ramsay e suoi collaboratori, durante gli ultimi sette anni.

In collaborazione con A. Cameron l'Autore ha cercato di alterare delle soluzioni di solfato e di nitrato di rame. Essi hanno trattato quelle soluzioni con quantità di *niton* considerevoli relativamente all'energia sviluppata. Essi hanno costantemente trovato del litio persino nelle soluzioni depurate prima colla massima accuratezza. Non può esistere dubbio circa alla presenza verificata del litio; ed esperimenti paralleli eseguiti con *niton* ed acqua sola, oppure col nitrato di mercurio e col nitrato di piombo non hanno dato traccia di litio. Tuttavia la signora

Digitized by Google

Curie ha tentato ripetere tali esperimenti in recipienti di platino, senza successo; e non se ne trova la spiegazione.

Più tardi col signor Usher l'A. trovò che il *niton* in contatto con soluzioni di silicio, di zirconio, di titanio e di torio, produce dell'acido carbonico, in quantità variabili secondo il peso atomico del metallo. Il cerio, il mercurio e l'argento non ne hanno fornito; mentre il piombo, un membro della stessa serie, ne ha data una quantità meno considerevole che quelle date dagli altri metalli.

Una quantità costante di nitrato di torio, trattata quattro volte successivamente con *niton*, ha dato dell'acido carbonico ciascuna volta corrispondente in volume alle quantità di niton impiegato. Dopo compiuti questi esperimenti il residuo di nitrato di torio fu mescolato con bicromato di potassa ed acido solforico (preventivamente depurati da ogni traccia di acido carbonico mediante riscaldamente nel *vuoto*) e non fu trovata traccia alcuna di acido carbonico; ciò che prova che il nitrato di torio adoperato non aveva mai contenuto carbonio sotto qualsiasi forma, oppure che la quantità di carbonio presente al principio delle esperienze era stata completamente distrutta dall'azione del *niton*.

Il Ramsay considera queste esperienze come di second'ordine; sebbene egli creda fermamente nella loro precisione, egli ritiene possibile di essersi ingannato. Nessun altro osservatore le ha confermate.

Ma è ben diversa cosa circa le seguenti esperienze che si riferiscono alla produzione del *neon* per mezzo di *niton* a contatto coll'acqua. Dapprima il Ramsay ed il Cameron hanno incontestabilmente provato che l'acqua sotto l'influenza del *niton* produce una quantità apprezzabile di *neon*. Più recentemente il Ramsay ha confermata quest'osservazione ed ha dimostrato che l'origine del *neon* non può essere attribuita ad un'introduzione accidentale di aria atmosferica. Secondariamente, le acque naturali di Bath esalano una miscela di gaz composta principalmente di azoto, una miscela che contiene 188 volte di *neon* proporzionalmente all'*argon* contenuto, in proporzione di quanto se ne trova nell'aria atmosferica, e 77 volte altrettanto di elio. I gaz sono fortemente radioattivi, e la presenza dell'elio è spiegata colla disintegrazione del *niton* contenuto nelle acque. Il neon ripete l'origine sua, indubbiamente, dall'azione del *niton* sull'acqua.

Il prof. Norman Collie ed il signor Patterson hanno avuto l'audace idea di sottoporre il vetro di un tubo vuoto ordinario al bombarda-

Digitized by Google

mento di raggi catodici in presenza di idrogeno. Essi hanno infatti trovato dell'elio e del neon. Essi hanno dimostrato che la presenza di questi gaz non può essere attribuita alla penetrazione di aria atmosferica od alla possibilità della loro sfuggita dal vetro o dal metallo degli elettrodi.

Più recentemente il Ramsay ha confermato quei risultati, ed è propenso a ritenere che se si lascia passare la scarica catodica tra due dischi di alluminio in un'atmosfera d'idrogeno secco, in tal modo che i raggi catodici non facciano contatto col vetro, oppure ad ogni modo facciano il minimo contatto possibile; si dovrebbe ottenere dell'elio solo; realmente vi è sempre una piccola traccia di *neon*. Se, al contrario, l'idrogeno è umido, oppure se esso è misto con un po' di ossigeno prima di essere introdotto, si avverte una preponderanza delle linee del *neon*, e tra esse quelle dell'elio. Il Ramsay ha ripetuto tali esperimenti parecchie volte ed ha acquistata maggiore certezza circa la loro precisione.

Non altrettanto egli può asseverare circa le esperienze che seguono, per le quali egli ammette la possibilità di errore.

Egli introdusse dell'idrogeno secco in un tubo dove gli elettrodi erano lamine d'alluminio; l'anodo era ricoperto di un sottile strato di zolfo, e fu sottoposto per 5 o 6 ore all'azione della scarica catodica. Furono esaminati i gaz estratti colla pompa, e non fu trovato affatto nè elio nè *neon*, ma esclusivamente dell'*argon*, mescolato con idrogeno. Della presenza dell'*argon* non v'ha dubbio alcuno; i gaz erano esenti di azoto, il che vieta di supporre che vi fosse inquinazione d'aria atmosferica. Ma essendo stata questa un'esperienza unica, non conviene insistere sul suo valore, fintantochè essa non sia stata varie volte replicata.

Un'esperienza consimile, nella quale fu introdotto, non già idrogeno, ma dell'elio nel tubo a zolfo, non ha dato risultati. L'elio già formato sembra non aver azione sullo zolfo esposto ai raggi catodici.

L'ultima esperienza fatta si riferisce all'azione dei raggi catodici sul selenio, in un'atmosfera di idrogeno. Essendo stati assorbiti i gaz condensabili per mezzo di carbone raffreddato, fu tolto l'idrogeno per quanto fu possibile colla pompa. Furono allora espulsi i gaz dal carbone riscaldandolo col vapore di solfo bollente. Il gaz, il cui volume non eccedeva qualche centesimo di millimetro cubico mostrò le linee dell'idrogeno, del mercurio, e sebbene debolissime, le linee caratteristiche gialle e verdi del *kripton*. L'esperienza fu ripetuta una seconda volta cogli stessi risultati; ma sarebbe desiderabile una certezza maggiore, e cioè una maggior evidenza delle linee gialle e verdi.

Digitized by Google

Dopo di aver brevemente accennato alle esperienze differenti di J. J. Thomson e del di lui modo di interpretarne i risultati, Sir W. Ramsay facendo ritorno alle proprie esperienze, ed alle obbiezioni che furono fatte a quelle, così conchiuse:

« Occorre guardare i fatti in faccia. Io sono propenso a credere che l'elio è prodotto a spese dell'idrogeno; che l'idrogeno secco si polimerizza in elio. Egli è vero che 4×1.008 non è uguale a 3,994; ma, secondo ogni probabilità, vi è perdita di elettroni. In presenza dell'ossigeno vi è formazione di *neon*. E nuovamente: $16 + (4 \times 1.008)$ non è esattamente uguale a 20, 200; ma si può supporre che una proporzione di elettroni dei raggi catodici sia stata assorbita. Sembra, infatti, che il *neon* possa essere formato più agevolmente che l'elio, e che esso possa ottenere il suo ossigeno dal vetro bombardato..... Non voglio insistere sulla formazione dell'argon per addizione di elio allo zolfo; tuttavia devesi osservare che l'elio già esistente non ne ha fornito; mentre l'idrogeno agendo sul solfo in presenza dei raggi catodici, sembra produrre dell'*argon*. Oltre alla ripetizione di queste esperienze, compresavi l'azione dell'idrogeno sul selenio, resta ad esperimentarsi l'azione dei raggi catodici sul tellurio in presenza dell'idrogeno; ci si può aspettare la sintesi dello *xenon*, poichè in cifre tonde $127.5 + 4 = 131.5$, il che differisce d'assai poco dal peso atomico dello *xenon*, 130,3.

« Insomma, avendo trovato, coi miei diversi collaboratori, che il radio ed il *niton*, perdendo dell'elio, si trasformano in altri corpi cosidetti elementari, ho provato di sottoporre le mie teorie ad una prova sperimentale; fino ad un certo punto i tentativi sono riusciti. È molto probabile, come l'hanno indicato il sig. Soddy ed altri dotti, che la differenza tra i pesi atomici di due elementi che appartengono a serie separate l'una dall'altra da una terza, (differenza la quale ammonta ad una media di 4 all'incirca) debba essere attribuita alla perdita od all'acquisto di un atomo di elio ».

Digitized by Google

Digitized by Google

INDICE ALFABETICO

Aberrazione della luce. 94.
Abiogenesi, ipotesi della. 303.
Abney Cap., luce e senso del colore. 360,
Accelerazione, definizione, 27.
Adams. J. C., correzione della teoria della accelerazione secolare della luna, 239.
Agnostica, posizione, argomentazione di Max Müller circa la. 282.
posizione. 278.
Airey, Sir George, e l'esperimento di Boscovitch, 97.
Alembert (D'), principio di, 57, 59, 60.
Alfa, particelle, assorbimento delle, 138, 154.
efficienza di trasformazione dell'energia in energia luminosa, 147.
energia cinetica, 154.
identità delle, con atomi di elio, 154.
novero delle, 153.
velocità iniziali delle, 153, 155.
Alfa, raggi, 135, 151.
deviabilità dei, 151.
rapporto costante della carica alla massa, 152.
Allan, radio-attività atmosferica, 142.
Altruistico, principio, apparenza di, 325
Ambrecht, gemme artificiali, 148.
Ampère, correnti elettriche e magneti, 14, 15.
definizione dell', 33.
teoria del magnetismo, 15.
Ampiezza di onde armoniche semplici, 75.
Anione, definizione, 22.
Anodo, definizione, 22.
Antinomie, definizione, 337.
Arago, aberrazione della luce, 95.
luce polarizzata, 77.
Arco elettrico, 122.
Archimede, principio di, sulla pressione dei liquidi, 50.
Argon, prodotto del radio, 140.
Arrhenius, Svantè, collisioni di stelle e nebulose risultanti, 203.
fiamme emanate dalla corona, 184.
il *Divenire dei mondi*, 198.
intervallo probabile prima della collisione del S. con altra stella, 199.
luci polari, 189, 193.
origine delle sostanze radio-attive, 179.
origine supposta dell'energia delle esplosioni solari, 178.
origine supposta dei pianeti maggiori, 207.
possibile azione contraria alla dissipazione dell'energia, 231.
pressione di radiazione nei fenomeni celesti, 183.
scarica da punte, 121.
Assoluto (l'), 295.
relatività inclusa nell', 342.
Astronomiche, anomalie, e legge di gravitazione, 236.
Atomo, antiche teorie, 64.
numero di elettroni nell', e disposizione loro, 211.
teoria degli elettroni nell', 65.
tipo dell', di Lord Kelvin, 211.
Atomi, energia di formazione degli, 221.
precisione della gradazione degli, 264.

Digitized by Google

Atomi, proprietà chimiche e raggruppamenti degli elettroni, 217.
-vortici di Lord Kelvin, 65.
Attinio, prodotti dell', 165.
scoperta dell', 136.
Aurora boreale, 186.
Auto-coscienziosità, 294, 337.
l'eterna, 342.
Avebury, Lord, intelligenza delle formiche, 364.
Azione intenzionale, modello di, XVIII.
nella monera e nelle piante, 308.
Azione minima, principio dell', 57, 59.
Ayrton, Mrs., arco elettrico, 122.

Ballet, G., raggi Blondlot, 363.
Barkla, G. H., raggi gamma, 159.
Bartholinus, doppia rifrazione, 75.
Batterie, primaria e secondaria, 21.
Becker, conduzione dielettrica, 132.
Becquerel, raggi, 134.
Becquerel, E., raggi beta, 156.
conduttività dell'aria in prossimità di metalli incandescenti al bianco, 117.
conduzione dielettrica, 132.
Bemont, radio, 136.
Bentley, lettere di Newton a, 89, 250.
Bernoulli, John, ipotesi di gravitazione, 251.
Beta, particelle, velocità delle, 157.
Beta, raggi, 135, 156.
assorbimento dei, 158.
deviabilità dei, 156.
Betelgeuse, 175.
Biogenesi, teoria della, 304.
Bjerknes, 255.
Blondlot, raggi, 360.
Boltwood, jonio, 167.
uranio e piombo, 168.
uranio e radio, 166.
Boscovitch, esperimento circa l'aberrazione, 97.
Bose, J. C., rispondenza a stimolo elettrico quale criterio di vita, 305.
Boys, C. V., aberrazione di gravitazione, XII.
Bradley, aberrazione della luce, 94.
Bragg, W. H., costante di, 145.
raggi alfa, 153, 155.
raggi gamma, 159.
Brewster, luce polarizzata, 73, 78.
Broca A., raggi Blondlot, 363.
Brooks, Miss., raggi alfa, 154.
Burton, dott. C. V., ipotesi pulsatoria della gravitazione, 258, 261.
Burton, F. H., radio-attività diffusa, 144.

Calamita, proprietà della, 11.
Cameron, neon ed argon dal radio, 140.
Campbell, N. R., radio-attività diffusa, 144.
rinunzia suggerita del concetto dell'etere, XX.
Campo elettrico, definizione, 8.
Canali, raggi, 128.
Cantor, separazione della matematica pura dalla fisica, XXI.
Capacità elettrica, definizione, 10.
specifica induttiva, 11.
Carnot, Sadi, principio di, 224, 229.
Catione, definizione, 22.
Catodo, definizione, 22.
Catodici, raggi, 127.
Causalità, natura della, fisica, 336.
Cavendish, misurazione elettrica, 28.
teoria elettrica, 46.
Centimetro, definizione, 26.
Cervello e mente, correlazione tra, 296.
Cervello, variazioni nel, sempre accompagnate da variazioni di stati di coscienza, 295.
Challis, ipotesi della gravitazione, 257.
Charpentier A., raggi Blondlot, 362.
Chimiche, proprietà, e la teoria elettronica, 217.
Cielo, piccola area di luminosità di un, stellato, 246.
Circolo massimo, definizione, 94.
Clausius, principio di, 225.
Clifford, W. K., dell'argomento teistico di Martineau, 279.
del tempo come una molteplicità, XIV.
Coesione, possibile spiegazione elettrica, 220.
spiegata mediante la gravitazione, 248.
Cometa di Encke, anomalie nel moto della, 93, 236.
Comete, quali ultimi immigranti nel sistema, 210.
Comete, code di, e pressione di radiazione, 195.
luminosità delle, 195.
Conduzione dielettrica, 131.
elettrolitica, definizione, 22.
nei gaz, 108.
Conduttori, definizione, 2.
Continuità, base del principio di, 279.
di leggi dinamiche per tutta la materia vivente e non vivente, 304.

Digitized by Google

Cooke, radio-attività diffusa, 144.
Coordinate, 53.
di Lagrange, generalizzate, 58.
Corona del Sole, 184.
fiamme della, 185.
Coronio, 184.
Corrente di saturazione nei gaz, 110.
Coscienza, albore della, in un fanciullo, 294.
cambiamenti di stati di, sempre concomitanti con variazioni cerebrali, 295.
e coscienziosità, 294, 337.
morale, 338.
Coulomb, il, definizione, 33.
legge della forza elettrica, 8.
legge della forza magnetica, 11.
misurazione elettrica, 28.
teoria elettrica, 46.
Creatore, Maxwell, della molecola e del, 280.
Cristalli, analogie tra i, e le forme organiche, 306, 307.
Cromosfera del Sole, 177.
Crookes, spazio oscuro di, 124.
Crookes, Sir William, due costituenti dell'uranio, 160.
quarto stato della materia, 24.
raggi catodici, 127.
lo spintariscopio, 146.
Curie, P., conduttività dielettrica, 131.
radio e polonio, 136, 137, 141, 162.
Curie, Signora, radio-attività del radio, del torio e del polonio, 135, 136, 141, 162.
della supposta produzione di sodio e litio dal radio, 141.

Danne, prodotti del radio, 162.
Darwin, Carlo, della necessità di un'intelligenza primaria, 286, 287.
delle piante insettivore, 313.
delle piante rampicanti, 310.
Darwin, Sir George, dell'ipotesi di Le Sage, 253.
l'origine probabile della Luna, 207.
Debierne, attinio, 136, 141.
Democrito, teoria atomica, 64.
Densità, definizione, 27.
Derivate, rispetto alle coordinate, 53.
Descartes, Huxley circa, 289.
Des Coudres, raggi alfa, 152.
Determinazione esterna dello schema molecolare inevitabile, 287.
dell'universo, carattere uni-direzionale della, 287.
Dewar, Sir William, elio dal radio, 140.
Dielettrici, definizione, 8.
conduzione, o trasmissione nei, 131.
costante, 11.
Differenziali, equazioni, significato delle, 53.
Differenziazione, origine della, 53.
Dina, definizione, 27.
Dio, il trattarne, secondo Newton, è compito della filosofia naturale, 269.
Direttività compatibile colle leggi osservate della dinamica, 277.
illustrazione di, 273.
dall'intelligenza primaria, modello semplice di, 276, 277.
necessità della, per l'esistenza eterna dell'universo, 231, 272.
da organismi viventi, modello semplice di, XVIII.
Dispersione di elettricità attraverso ai gaz, 108.
Dissipazione dell'energia, 225, 234.
funzione, 61.
Doppler, effetto di, 96.
Drude, suggerimento di teoria elettronica, 24, 66.
vettore di luce di, 83.
Drummond, controversia circa il culmine dell'evoluzione raggiunto dalla struttura del corpo dell'uomo, 324.
Dualismo kantiano, 338.
Durach, raggi alfa, 155.
Durezza dei raggi Röntgen, 130.
Dyer, Sir William Thistleton, protoplasma dell'uomo e del fungo, 318.

Ekholm, luci polari, 190.
Elettrico (od *a*) arco, 122.
attrazione e ripulsione, legge di, 1, 5, 6.
campo, definizione, 8.
capacità, definizione, 11.
corrente, calore sviluppato, 20.
costanza della, 20.
lavoro compiuto da una, 20.
unità di, 31, 33.
forza, legge di Coulomb, 8.
legge di Ohm, 20.
misurazioni, 27.
resistenza nei dielettrici, 131.
resistenza nei gaz, 110.
rispondenza, 305.
teoria, primi sviluppi della, 46.
unità di potenza, 33.

Digitized by Google

Elettrico, unità di quantità, 31, 33.
unità di resistenza, 33.
vortici, 18.
Elettricità atmosferica terrestre ed il Sole, 187.
atomi di, di Helmholtz, 23.
l'elettrone, unità naturale dell', 24.
natura molecolare dell', di Maxwell, 23.
positiva e negativa, 3.
prime teorie dell', 46.
teoria meccanica dell', 47.
vitrea e resinosa, 1.
Elettrizzazione per frizione, 1.
per induzione, 3.
Elettrodi, definizione, 22.
Elettrolisi, 22.
legge di Faraday sull', 23.
Elettromagnetica, induzione scoperta da Faraday, 15.
legge di Faraday sull', 18.
legge di Lenz, 16.
limite della legge di Faraday, 19.
unità, 30, 33.
Elettro-motrice, forza, definizione, 10.
derivabile dal potenziale degli elettroni, 32.
unità di, 32, 33.
Elettrone, forza magnetica sull', 133.
proposta del termine, fatta da Stoney, 24.
Elettroni, 4.
liberi, 5.
numero e disposizione degli, in un atomo, 211.
origine degli, inconcepibile senza una intelligenza primaria, 279.
teoria degli, prime ipotesi, 24.
Elettronica, temperatura, di Sir J. J. Thomson, 220.
Elettroscopio, 2.
Elettrostatica, induzione, 7.
unità, 30.
Elica, definizione, 15.
Elio, particelle alfa identiche ad atomi di, con una carica, 153.
quale prodotto del radio, 140.
Elittico, spazio, 91.
Elster, cozzo di particelle alfa su schermi di solfuro di zinco, 146.
dispersione elettrica attraverso all'aria e ad altri gaz, 108, 142.
foto-elettricità, 118.
jonizzazione mediante solidi incandescenti, 117.
radio-attività, 142.
tracce di polonio nel piombo, 144.
Embrionale, sviluppo, Huxley e Wallace sullo, 320, 321.
Encke, cometa di, anomalie del moto della, 93, 236.
Energia, cambiamenti di, dimostrati influenzare ed essere influenzati dalla mente, 300.
cinetica, funzione delle masse e delle velocità, 59.
conservazione dell', 59, 233.
definizione, 28.
dissipazione dell', 225.
ipotesi di Arrhenius di una possibile azione contraria alla dissipazione di, 231.
Lord Kelvin circa la dissipazione di, 224, 301.
potenziale, funzione delle sole coordinate, 59.
principio di conservazione dell', quale ultimissima legge fondamentale dei fenomeni naturali, 300.
principio di dissipazione dell', 229.
quistione dell'influenza organica sulla dissipazione dell', 301.
unica ultimissima base della materia, 299, 300.
unità di, 28, 34.
utile e dissipata, 224.
Entropia, definizione, 225.
dell'universo, 225, 272.
esempio familiare di aumento di, 272.
Equipotenziale, superficie, definiz., 9.
Erg, definizione, 27, 32.
Eterna auto-coscienziosità, 343.
Etere, compenetrazione della materia dall', 70.
effetto di un moto attraverso all', sulle dimensioni, 106.
fluido perfetto, 85.
metodi alternativi di sviluppo di una teoria dell', 66.
modello dell', di Lord Kelvin, 84.
opinione di Newton circa la necessità dell', 69, 89, 224, 232.
possibilità per l', di essere comprimibile, 81.
tentativi per scoprire un moto attraverso all', 97.
teoria dell', di Haeckel, 343.
teoria di Stokes di un, in moto, 98.
teorie, prima origine delle, 64.
trasmissione di onde piane per mezzo dell', 78.
suggerimento per respingere il concetto dell', xx.

Digitized by Google

Etica, facoltà spiegata mediante la teoria della mente universale, 324.
ed il processo cosmico, ragionamento di Huxley circa l', 325.
Euclide e natura dello spazio, 91.
Eulero, dinamica, 57.
principio dell'azione minima, 56.
Eve, raggi gamma, 159.
Evoluzione, sede dell'intelligenza intenzionale dell'uomo nell', 326.
teoria dell', di esseri viventi, 316.

Facole del Sole, 176.
Farad, il, definizione, 33.
Faraday, D. P. della scarica per scintille, 119.
disco di rame rotante, 21.
esclusione di azione a distanza, 5.
induzione elettro-magnetica, 15.
legge di, induzione elettro-magnetica, 18.
leggi di elettrolisi, 23.
limiti della legge di induzione e. m., 19.
primo a riconoscere il significato delle linee di forza elettro-magnetica delineate da Gilbert, 12.
spazio scuro di, 125.
sperimenti d'induzione elettrostatica, 7.
teoria elettrica di, 46, 47, 48, 62, 63.
Fase di un'onda, definizione, 75.
Favella, come distinzione tra l'uomo e la bestia, 321.
Fay (Du), conduttività dell'aria in prossimità di metalli incandescenti, 117.
Faye, M., aneddoto di Napoleone e Laplace, 271.
Feil, gemme artificiali, 149.
Fenomeni e numeni, 282, 337.
Fichte, sviluppo della filosofia di Kant, 338.
Filosofia di Hegel, 338.
critica di Kant, 337.
Fitz Gerald, G. F., effetto del moto sulle dimensioni, 106.
osservazioni sull'identità delle teorie sull'etere di Maxwell e di Mac Cullagh, 82.
teoria elettromagnetica della riflessione e rifrazione, 25.
Fizeau, moto attraverso all'etere, 98.
Fleming, G. A., arco elettrico, 124.
Föppl, concetto di massa negativa, 245.
Forza, definizione, 27.
linee di, definizione, 9, 10.
Forza, tubi di, definizione, 17.
Forze, sistema delle, centrali, 46.
Fotosfera del Sole, 176.
Foucault, pendolo di, 86.
Franklin, teoria del fluido unico, 5.
Fremy, gemme artificiali, 149.
Fresnel, aberrazione della luce, 95.
legge di rifrazione per corpi in moto, 96.
luce polarizzata, 77.
propagazione lineare della luce, 70.
teorie dell'etere di, 68, 69, 71, 77, 78.

Galileo, esperimenti sulla caduta dei gravi, 45, 51.
macchie del Sole, 176.
separazione della fisica dalla teologia, 268.
Galvani, pile primarie, 21.
Gamma, assorbimento dei raggi, 158.
raggi, 135, 158.
Gates, Miss, volatilità dei depositi radioattivi, 141.
Gauss, misurazioni elettriche, 28.
teoria elettrica di, 47, 49.
Gautin, gemme artificiali, 148.
Gaz, conduzione nei, 108.
jonizzazione dei, 110.
Geiger, raggi alfa, 153.
Geitel, cozzo di particelle alfa sovra schermi di solfuro di zinco, 146.
dispersione elettrica attraverso i gaz, 108, 142.
foto-elettricità, 119.
jonizzazione mediante solidi incandescenti, 117.
radio-attività, 142.
tracce di polonio nel piombo, 144.
Gemme, colorazione radio-attiva di, 148.
Gerard, Rev. J., ipotesi di Haeckel, 354.
Giesel, raggi beta, 156.
Gilbert, delineamento delle linee di forza magnetica per mezzo di limatura di ferro, 12.
Giove, ottava luna di, moto retrogrado della, 198.
Glazebrook, doppia rifrazione, 76.
Gleditsch, M.lle, sulla supposta produzione di sodio e di litio nel radio, 141.
Goldstein, raggi canali di, 128.
raggi catodici di, 127.
Gramma, definizione, 27.
Gravitazione, 4, 35, 235.

Digitized by Google

Gravitazione, anomalie di, e possibilità di risolverle, 240.
correttezza della legge di, a distanze sensibili, 236, 250.
costanza della, e valore della costante di, 35.
forza di, assenza di aberrazione, 238, 241.
forza di, sua indeterminatezza possibile od infinità, 245.
ipotesi circa la, 241, 250.
ipotesi di pulsazioni di, 255.
ipotesi di una corrente costante di etere, 262.
mancanza di dispersione della forza di, 238.
minutezza della forza di, 237.
teoria dell'etere, 243, 256.
unità di, 35.
Gray, R. W., periodo di struggimento del radio, 163.
Greci, contributo dei, alla meccanica, 45.
Green, conservazione dell'energia, 59.
esistenza d'un potenziale, 49.
teoria elettrica, 49.
teoria della riflessione e della rifrazione della luce, 72.
Grier, radio-attività dell'uranio, 161.
Guthrie, perdita di carica da un corpo caldo, dipendente dal segno, 117.

Hadfield, R. A., analogie tra i cristalli e forme organiche, 307.
Haeckel e l'assenza di direttività da uno schema meccanico, 271.
ipotesi di un'anima cellulare o atomica, 308.
ipotesi di disteleologia, 330.
ipotesi di un etere, 343.
ipotesi fisiche, 332, 345.
la Monera, 308.
il Monismo, 329.
il *Problema dell'Universo*, 333, 345.
Hahn, raggi alfa, 152.
Hahns, Otto, prodotti del torio, 164.
Hallwachs, carica positiva mediante luce ultra violetta, 118.
Hamilton, Sir William Rowan, algebra come scienza di puro tempo, XIII.
principio dell'azione minima, 59.
Harkányi, dati per estimazioni di temperature stellari, 175.
Hegel, analisi della mente, 339.
concetto dell'universo di, 340.
logica di, 339.
Helmholtz, degli atomi di elettricità, 23
della quistione dell'influenza organica sulla dissipazione di energia, 302.
teoria elettrica, 46.
Henry, Joseph, effetti di simili-fosforescenza, 134.
Henry, l', definizione, 34.
Hepperger, J. von, velocità minima di propagazione di gravitazione, 239.
Herschel, moto proprio del sistema solare, 101.
Hertz, del principio di Hamilton, 60.
principio generalizzato dell'azione minima, 61.
raggi catodici, 128.
scintilla elettrica facilitata dalla luce ultra-violetta, 118.
teoria elettrica, 47.
Hicks, W. M., ipotesi pulsatoria circa la gravitazione, 255.
Hittorf, raggi catodici, 127.
Hodgson, conduzione dielettrica, 132.
Hoor, carica positiva mediante luce ultra-violetta, 118.
Hudson, trasferimento del pensiero, 357.
Huggins, Sir William, misura delle velocità delle stelle, 96.
Huxley, circa Descartes, materialismo ed idealismo, 289.
critica dell'ipotesi disteleologica di Haeckel, 331.
l'etica ed il processo cosmico, 325.
sulla necessità, 288.
scienza e filosofia, 353.
sviluppo del germe di una rana, 319.
sullo sviluppo embrionale, 320.
Huggens, contributo alla dinamica, 45.
doppia rifrazione, 76.
principio di lavoro di, 59.
separazione della fisica dalla teologia, 268.
teoria dell'etere, 64, 68.
vedute circa la gravitazione, 250.

Ideale, unità, 340.
Idealista, il puro, 288.
Induttanza, unità di, 34.
Induzione elettrostatica, 7.
Inerzia e la teoria elettronica, 233.
Integrazione, origine dell', 52.
Intelligenza e natura, unificazione di, 338.
Intenzionale, azione, modello di, XVIII.

Digitized by Google

Intenzionale, azione, nella monera e nelle piante. 308
Isolatori, definizione, 2.

Jacobi, sul principio dell'azione minima, 57.
Jaffè, conduzione dielettrica, 132.
Janssen, spettroscopia solare, 177.
Jarolimek, sull'ipotesi di Le Sage, 254.
Joly, evidenza di colorazione naturale radio-attiva del mica, 173.
Joni elettrolitici, definizione, 22.
gazosi, condensazione prodotta dai 115.
diffusione dei, 112.
moto dei, in un campo magnetico. 113.
ragione di cambiamento alla massa. 114.
velocità relative dei, 111.
velocità dei, negativi, 114, 157.
nella conduzione gazosa, 109.
Jonizzazione mediante fiamme, 118.
mediante luce, 118.
mediante solidi incandescenti, 117.
mediante raggi Röentgen, 130.
nei gaz, 110.
radio-attiva, 135.
struggimento di, 111.
Joule, il, definizione, 34.

Kant, concetto di, del tempo e dello spazio, errore nel, 283.
dualismo di, 338.
filosofia critica di, immenso servizio reso dalla, 337.
ipotesi nebulare di, 196.
Kaufmann, esperimenti circa la velocità delle particelle beta e masse elettriche, 157.
Keetman, estimo del tempo di struggimento dell'attinio, 165.
Kelvin, Lord, atomi vortici, 65.
bacini di oceani come cicatrici possibili formate dal distacco della luna, 208.
età del Sole, 173.
età della Terra, 169.
forze su solidi in un liquido che si muove, 262.
gravità e coesione, 248.
ipotesi di Le Sage, 251.
luminosità di un cielo stellato, 246.
misurazioni elettriche, 29.
modello dell'etere di, 83, 86.
Kelvin, nebulosa sferica gazosa, 206.
principio di lavoro, 59.
rotazione della Terra ed azione delle maree, 239.
sulla dissipazione dell'energia, 301.
sul potere creativo e direttivo, 303.
tipo di atomo, 211.
velocità medie delle stelle ed ammontare di materia nell'universo, 246.
Keplero, ripulsione solare sulle code delle comete, 195.
Kirchhoff, teoria elettrica, 46,
Kleeman, raggi alfa, 153, 155.
Knoblauch, foto-elettricità, 118.

Laborde, alta temperatura del radio, 137.
Lagrange, azione minima, 57.
coordinate generalizzate, 57.
meccanica analitica, 57.
Lamarck, un esponente di evoluzione, 315.
Lane, J. H., innalzamento di temperatura in una nebulosa contraentesi, 206.
Lankester, Sir Edwin Ray, della monera, 308.
Laplace, ipotesi nebulare, 196.
mancanza di assorbimento della forza di gravitazione, 236.
e Napoleone, 271.
perturbazioni planetarie, 270.
teoria elettrica, 49.
velocità minima della propagazione dell'azione di gravitazione, 239.
Larmor, Sir Joseph, conservazione dell'energia, 233.
dell'ipotesi pulsatoria di gravitazione, 256.
di alcune ipotesi di gravitazione solo apparentemente possibili, 241.
mancanza di dispersione della forza di gravitazione, 238.
obbiezione alla teoria dell'etere di Fresnel, 72.
delle relazioni fra i tre modelli dell'universo, 281.
suggerimento di una teoria dell'elettrone, 24, 66.
teoria dell'etere, 47, 50.
della teoria di Stokes di un etere in moto. 100.
Lavoro, definizione, 27.
unità di, 27, 33.
Leahy, A. H., pulsazioni di sfere in un fluido, 257.

Digitized by Google

Lehmann-Filhès, R., velocità minima di propagazione di gravitazione, 239, 241.
Leibnitz e Newton, controversia tra, 271.
Leibnitz, sviluppi matematici, 52, 53.
Lenhard, raggi catodici, 128.
Lenz, legge di induzione elettromagnetica, 16.
Le Sage, ipotesi di gravitazione, 251.
Lettura del pensiero e raggi Blondlot, 357.
Livello, superficie di, definizione, 9.
Linea integrale, significato di, 10.
Lobachewsky, districamento della matematica pura dalla fisica, XXI.
Locale, azione, in una pila primaria, 22.
Lockyer, Sir Norman, macchie solari, 176.
  spettroscopia solare, 177.
Lodge, Sir Oliver, effetto d'assorbimento di particelle alfa, 138.
  fiamme della corona, 185.
  ipotesi di Haeckel, 354.
  minutezza delle forze di gravitazione, 237.
  moto dell'etere, 98.
  il tempo come una quarta dimensione per lo spazio, XIII, XIV.
Logica di Hegel, 339.
Lorentz, effetto del moto sulle dimensioni, 106.
  ipotesi elettriche di gravitazione, 241.
  suggerimento della teoria degli elettroni, 24, 66.
Luce, aberrazione della, 94.
  condizioni limiti nella riflessione e nella rifrazione, 71.
  doppia rifrazione della, 75, 76.
  natura delle onde di, 73, 74.
  polarizzata, circolare, ellittica e piana polarizzata, 75.
  teoria crepuscolare della, 70.
  teorie della riflessione e rifrazione, 72, 77.
  trasmissione di onda piana polarizzata, 79.
  vettore di, 83.
Lucrezio, teoria atomica, 64.
Luna, anomalie nell'orbita della, 236.
  accelerazione secolare della, 238.
  probabile origine della, 207.

M'Coy, uranio e radio, 167.
Mac Cullagh, teoria dell'etere, 24, 47, 73, 78, 80.
Mach, E., sul moto assoluto, 86.
Mackenzie, raggi alfa, 152.
Mac Laurin, dinamica, 57.
M'Leman, radio-attività diffusa, 144.
Maeterlinck, intelligenza delle api, 364.
Magnete, definizione, 11.
Magnetico, asse, 11.
  campo, 12.
    deviazione dell'arco elettrico per mezzo di un, 124.
    movimento di joni gazosi in un, 112.
    del Sole, 189.
  forza, legge di Coulomb circa la, 11.
  delineazione delle linee di f. m. per mezzo di limatura di ferro, 12, 18.
  forza, sovra un elettrone, 133.
  induzione, teoria di Weber circa l', 12.
  momento, definizione, 12.
  polo, definizione, 11.
  unità di polo, 30.
Magnetismo, teoria di Ampère, 14, 15.
Magnetizzazione, intensità di, 13.
Malus, luce polarizzata, 76, 77.
Marckwald, polonio, 163.
Marte, anomalie nel suo moto presso al perielio, 236.
Martineau, argomento teistico di, 279.
Mascart, rifrazione doppia, 76.
Massa, concetto di, negativa, 245.
  la, e la teoria elettronica, 233.
Matematica pura, districamento della, dalla fisica, XXI.
  semplice logica simbolica, 90.
Matematici, metodi, competenza dei, 50, 53.
Materia, conservazione della, 232.
  energia, quale sola ultimissima base fenomenale della, 300.
  e mente, continuità delle leggi dinamiche, per tutte le cose non viventi e viventi, 304.
  e mente, semplificazione del problema della correlazione loro, 298.
  vivente, solamente associata visibilmente colla mente, 323.
Materiali, fenomeni, il principio della conservazione dell'energia quale ultimissima legge per i, 300.
Materialista, il puro, 288, 289.
Maupertuis, idea di, dell'azione minima, 56.
Max Müller, circa l'atteggiamento di agnostico, 282.
  della favella quale barriera tra l'uomo e la bestia, 322.

Digitized by Google

Maxwell, difetto nella di lui teoria meccanica dell'elettricità, 49.
equilibrio negli anelli di Saturno, 197.
dell'etere, 31.
forza elettro-motrice ad un punto dato, 8.
ipotesi dei démoni selettori, 226.
circa l'ipotesi di Le Sage, 252.
circa la legge di rifrazione di Fresnel, 97.
le molecole ed il Creatore, 280.
natura elettro-magnetica della luce, 30.
circa la natura molecolare dell'elettricità, 23.
teoria elettrica, 48, 49, 62, 63.
teoria dell'etere di gravitazione, 243.
Mayer, esperimenti con magneti galleggianti, 213.
Meccanica, rappresentazione, definiz., 54.
teorie, natura delle, 47, 62.
il più semplice ramo della fisica, 45.
Meccanici e quasi meccanici, concetti, XIX.
Meccanici, modificazioni nell'aspetto dei principî, 224.
Meccanico, modello dell'universo, 268, 297.
Melotte, scoperta dell'ottava luna di Giove, 198.
Mendeleef, legge di periodicità, 215.
Mentale, modello dell'universo, 287.
Mente, analisi della, di Hegel, 389.
e cervello, correlazione, 296.
definizione, 296.
materia prima della, 308.
e materia, semplificazione del problema della loro correlazione, 298.
di un organismo, influenza nell'effettuare variazioni nella progenie, 318
provata influenzare ed essere influenzata da variazioni d'energia, 300.
la sola causa a noi nota oltre lo schema molecolare, 287.
l'ultimissimo definitivo potere nella natura, 286.
universale, concetto di una, quale ipotesi ausiliaria, 278.
nell'universo, 268.
visibilmente associata solo con materia vivente, 323.
Menti, come entità discrete, impossibilità dell'ipotesi di varie, 334.
Mercurio, moto al perielio, 236.
Metalli e forme organiche, analogie tra, 305, 306.
Meteorici, sciami, ultimi immigranti nel sistema solare, 210.
Meteoriti, e la formazione di sistemi stellari, 206.
Meyer, E., raggi beta, 156.
raggi Blondlot, 363.
prodotti del radio, 163.
Michelson-Morley, esperimento di, 102.
Misurazione, 26.
Modelli di fenomeni fisici, XVI, 62, 90, 228, 268, 269, 270, 274, 280, 287, 296.
dell'universo, XVI, XIX, 268, 269, 274, 280, 287, 296.
Molecolare, modello dell'universo, 269.
schema, inevitabile determinazione esterna di uno, 280.
Molecole ed il Creatore, di Maxwell, 280.
Momento di un corpo, 27.
magnetico, definizione, 12.
della quantità di moto, 85.
Monera, azione intenzionale della, 308.
Morale, coscienza, 338.
Morley, vedere Michelson.
Mossotti, O. E., ipotesi di gravitazione, 242.
Moto assoluto, 86.
Münsterberg, psicologia e fisiologia, 349

Napoleone e Laplace, 271.
Natura ed Intelligenza, unificazione di, 338.
uniformità di, 279.
Naturale, selezione, 316.
Nebulare, ipotesi, 196.
Nebulose, annulari, 205.
a spirale, 205.
Nebulium, 201.
Necessità, Huxley, della, 288.
Neon, prodotto del radio, 140.
Nettuno, inclinazione dell'orbita di, 198
luna di, moto retrogrado di una, 198.
Neumann, C., indeterminatezza possibile di attrazione e di gravitazione, 245.
Neumann, F. E., teoria elettrica, 46.
Newlands, legge periodica di, 215.
Newmann, Cardinale, della mente quale definitivo potere determinante nella natura, 286.
Newton e Leibnitz, controversia tra, 271.
Newton, concetto dell'etere, 69, 70, 89, 228, 249, 250.
erroneo assunto dell'intervento della Divinità nello schema meccanico, 270.

Digitized by Google

Newton, gravitazione e fondamento della dinamica, 45. 52.
legge di azione e di reazione, 229, 232.
legge di gravitazione. 235.
luce polarizzata, 77.
sul moto assoluto. 86.
separazione della fisica dalla teologia. 268.
sviluppi matematici. 52, 53.
« il trattare di Dio è una parte della Filosofia naturale », 269.
Nillson, H., conferma sperimentale dell'ipotesi delle mutazioni, 318.
Niton, scoperto da Sir W. Ramsey, 367.
Nova Persei, 200.
Numeni e fenomeni, 282, 337.

Oceani, bacini degli, origine possibile dei, 208.
Oersted, correnti elettriche e magneti 13.
Ohm, l', definizione. 33.
legge di resistenza elettrica nei gaz. 110; nei dielettrici, 131.
misura della resistenza elettrica, 28.
Onde, armoniche semplici, 74.
ampiezza delle, 75.
fase delle, 75.
natura delle, di luce. 73.
Organiche, forme, e metalli e cristalli. analogie tra le, 305.
Osmond, Floris, vedi precedenti analogie.
Owens, radio-attività del torio, 135.

Panteistico, uno schema puramente. è insufficiente, 323.
Parallasse, 94.
Paschen, raggi gamma. 159.
potenziale delle scintille, 120.
Paulsen, luci polari, 190.
Peano, separazione della matematica pura dalla fisica, XXI.
Pearson K., ipotesi di pulsazione di gravitazione. elettricità ed ottica, 262.
Pelé, monte. tramonti infuocati. 186.
Pensiero, trasferimento o lettura del. e raggi Blondlot, 357.
Periodica, legge, 215.
Pianeti, origine probabile dei maggiori. 207.
Piante. azione intenzionale nelle, 309, 310.
Pickering, scoperta della luna esteriore di Saturno, 198.
Planetari, orbite. approssimantisi a cerchi ed a parallelismo coll'eclittica durante la formazione di sistemi di stelle, 209.
moti retrogradi, 198.
perturbazioni persistenti con la stabilità dinamica. 270.
Plenum, concetto di un, 67.
Plücker, raggi catodici. 127.
Poincaré, H., equilibrio di una figura foggiata a pera, 207.
fisica matematica, 224.
moto assoluto. 86.
Poisson, teoria elettrica, 46, 49.
Polari, luci, 189.
Polarizzata, luce, 75.
Polonio, scoperta del, 136.
Potenziale, differenza di, unità di, 31, 33.
delle scintille. 119.
Pouillet, galvanometro, 14.
misura di resistenza elettrica, 28.
Primaria, intelligenza, semplice modello di direttività della. 276. 277.
Protoplasma, la base fisica della vita. 306.
Punte, scarica da, 120.

Quantità elettrica, due fattori di, 26.
unità di, 31, 32, 33.
Quantità di moto, definizione, 27.

Radiazione, calcolo della perdita di energia da parte di elettroni, od anelli di elettroni, dovuta alla, risultante, 221.
pressione di, nei fenomeni celesti, 183.
opinione di Schwartzschild, 193.
sulle code delle comete. 195.
Radio, alta temperatura del, 137.
composti del, alta luminosità, 138.
prodotti del, 161, 164.
scoperta del, 136.
Radio-attiva colorazione, e produzione di gemme artificiali. 148.
emanazioni, 139, 141.
particelle, emissione dal Sole, 186.
emesse nelle collisioni di stelle, 201. 202.
raggi, penetrazione relativa e jonizzazione. 150.
sostanze, possibile origine delle, 179.
condizioni termo-dinamiche di formazione delle, 180.
trasmutazioni, 160, 365.

Digitized by Google

Radio-attiva, volatilità dei depositi. 141.
Radio-attività, 134.
ampia diffusione della, 142.
potere penetrativo della r. dei metalli ordinari, 144.
proprietà atomica, 137.
secondaria, 137.
solare, 174.
nelle stelle e nelle nebulose, 196.
terrestre, 171.
del torio, 135, 141.
dell'uranio, 135.
Raggi Blondlot, 360.
canali, 128.
catodici, 127.
Röntgen, 129.
Röntgen, durezza dei, 130.
Raggio rifratto straordinario, 76.
ordinario, 76.
Ragione pratica, 337.
pura o speculativa, 337.
Ramsay, Sir William, l'elio dal radio, 140, 366.
emanazione di radio, 141.
il neon e l'argon dal radio o suoi derivati, 140, 369, 370.
del niton, 307.
periodo di struggimento del radio, 163.
prodotti del torio, 165.
Razionalizzazione dell'universo, 336.
Rayleigh, Lord, funzione della dissipazione, 61.
Realtà ultimissima, di Hegel e della scienza moderna, identiche, 341, 342.
Relatività inclusa nell'Assoluto, 342.
principio di, 229.
Resistenza elettrica, vedi Elettrica resistenza.
Reymond, Du Bois, critica di Hæckel, 330.
Riemann, ipotesi di gravitazione di una corrente di etere, 265.
separazione della matematica pura dalla fisica, XXI.
lo spazio come molteplicità, XIII.
Riflessione, condizioni, 71.
Rifrazione, condizioni, 71.
legge di Fresnel sulla, 96.
Righi, carica positiva mediante la luce ultra-violetta, 118.
radio-attività diffusa, 144.
Ritardo della scarica per scintille, 119.
Ritter, A., calore generato nelle collisioni tra stelle, 203.
Riversibile, ciclo, 224.
Rivoluzione, definizione, 78.
Romanes, circa l'intelligenza degli animali, 321.
Röntzgen, potenziale minimo della scarica da punte, 121.
raggi, 129.
e la radio-attività, 134.
Royds, raggi alfa, 154.
Russell, B., circa gli errori nel concetto di Kant dello spazio, 283.
sul moto assoluto, 89.
Rutherford, E., corrente di saturazione, 111.
deviabilità dei raggi alfa, 151.
efficienza di trasformazione di energia delle particelle alfa in energia luminosa, 147.
emanazione del radio, 141.
jonio, 167.
radio-attività atmosferica, 142.
radio-attività dell'uranio e del torio, 135, 136, 141, 161, 164.
raggi alfa, 151 e seg.
raggi gamma, 158.
uranio e radio, 166.
Rysánek, sull'ipotesi di Le Sage, 252

Saturazione, corrente di, nei gaz, 110.
Saturno, anelli di, equilibrio degli, 197.
luna esteriore di, moto retrogrado della, 198.
Scarica da punte, 120.
per scintille, 119.
in tubi vuoti, 124.
Schelling, sviluppo della filosofia di Kant, 338.
Schmidt, G. C., foto-elettricità, 118.
radio-attività del torio, 135.
Schott, G. A., ipotesi di gravitazione di una corrente d'etere ed esattezza della scala degli elettroni, 264.
Schuster, Arthur, ipotesi di gravitazioni di una corrente di etere, 265.
massa negativa, 245.
Schwarzschild, K., pressione di radiazione, 193.
Schweidler, von, prodotti del radio, 163.
raggi beta, 156.
Schweigger, galvanoscopio, 14.
Scintille, lunghezza critica delle, 120.
potenziale delle, 119.
scarica per, 119.
ritardo delle, 119.
Secondo, definizione, 27.
Seebeck, luce polarizzata, 73.

Digitized by Google

Seeliger, H., possibile infinità di attrazione di gravitazione, 245.
Sferoide, definizione, 76.
Sirius, 175.
Soddy, F., elio dal radio, 140.
emanazione del radio, 141.
radio-attività del torio, 135, 164.
uranio e radio, 166.
Solare, polvere, 185, 187.
ripulsione delle code delle comete, 195.
sistema, avvenire probabile del, 198.
moto proprio del sistema, 101, 199.
Sole, atmosfera del, 177.
campo magnetico del, 189.
corona del, 184.
energia della materia projettata dal, e sua origine probabile, 177.
età del, 173.
macchie del, 176.
protuberanze del, 177, 185.
radio-attività del, 174.
temperatura, estimo della, 175.
Solenoide, definizione, 15.
Sorley, W. R., impossibilità di spiegare la facoltà etica sovra uno schema naturalistico, 324.
selezione naturale ed intenzione quali fattori nell'evoluzione, 326, 327.
Spazio e tempo, concetti generalizzati di, 90, 91, 275.
errori nei concetti di Kant circa lo, 283.
come una molteplicità, XIV.
ragioni di variazioni, 54.
il tempo come quarta dimensione nello spazio, XII.
Spencer, Herbert, criterio di vita, 296.
l'inconoscibile, 341.
sviluppo di principî altruistici, 325.
Spintariscopio, 146.
Spirale, definizione, 15.
Stelle, calore generato nelle collisioni tra, 203.
colori delle, 175.
estimo delle temperature delle, 174.
grandezze delle, definizione, 200.
natura degli spettri, 175.
nuove, 200.
velocità delle, misurata mediantel'effetto di Doppler, 95, 96.
velocità, media, ed ammontare della materia nell'universo, 246.
Stellato, cielo, piccola area di luminosità di un, 246.
Stephen, Sir Leslie, assurdità del materialismo puro, 329.
Stevinus, principio di lavoro, 57, 59.
Stewart, Balfour, sul principio di continuità, 279.
Stokes, Sir George, analogia della pece con un etere solido-fluido, 82, 96.
doppia rifrazione, 76.
moti dei joni gazosi in un campo magnetico, 113.
raggi Röntgen, 131.
ragione di caduta di una goccia, 116.
teoria di un etere in moto, 98.
Stoletow, carica positiva mediante la luce ultra-violetta, 118.
Stoney, suggerimento del termine elettrone, 24.
Strutt, Hon. R. J., radio-attività diffusa, 144.
radio-attività terrestre, 171.
uranio e radio, 167.
Swedenborg, ipotesi nebulare, 196.
Symmer, teoria dei due fluidi, 5.

Tait, P. G., principio di continuità, 279.
principio di lavoro, 59.
Tempo, algebra qual scienza di puro, XIII.
come quarta dimensione nello spazio, XIII.
rapporti di variazioni di, 54.
e spazio, errori nei concetti di Kant, 283.
Terra, età della, 169.
velocità di rotazione della, ed azione delle maree, 239.
Thomson, Sir J. J., carica di joni gazosi negativi, 116.
corrente di saturazione, 110.
D. P. della scarica per scintille, 119.
energia irradiata e numero di elettroni in un anello, 221.
numero di elettroni in un atomo, 223.
radio-attività diffusa, 144.
radio-attività in una riserva di acqua, 142.
raggi canali, 129.
raggruppamento d'elettroni e proprietà chimiche, 216, 217.
ragione della carica alla massa di joni gazosi, 114, 115, 116.
scarica da punte, 120.
sfera in moto carica, 24.
stabilità di atomi secondo gli elettroni, 212.
temperatura elettronica, 221.
teoria dell'arco elettrico, 123, 126.

Digitized by Google

Torio, prodotti del, 165.
radio-attività del, 135.
Torsione, definizione della, 78.
Towsend, diffusione di joni gazosi, 112.
raggi alfa, 155.
Tramonti, colore dei, 186.
Trasferimento di pensiero e raggi Blondlot, 357.
Trasmutazioni di elementi, 365.

Unità assolute, definizione, 29.
e campioni, Rapporto della Conferenza Internazionale, 39 e segg.
C. G. S., sistema delle, 27.
derivate, 27.
dimensioni delle, elettriche, 38.
elettro-magnetiche, 30, 33.
elettrostatiche, 30.
fondamentali, 26.
di gravitazione, 35.
internazionali, 34.
legali, 34.
relazioni tra i sistemi di, 35, 36.
riduzione dall'uno all'altro dei sistemi, 36, 37, 38.
Universale, mente, concetto di una, quale ipotesi ausiliaria, 278.
derivazione empirica dei poteri di una, 299.
limitazioni della teoria fisica di una, 335.
linea di pensiero che adduce al formolare la teoria della, 333.
sviluppo filosofico della teoria della, 336.
la teoria della, risolve tutti i problemi fuorchè l'origine dell'energia, 329.
Universo, carattere unidirezionale di determinazione dell', 287.
concezione di Hegel dell', 339.
eliminazione del concetto del tempo dall', XVI.
entropia dell', 272, 273.
modello meccanico dell', 268, 287.
modello mentale dell', XVI, XIX, 280, 287, 297.
modello molecolare dell', 269, 287, 297.
non eternità di un, non controllato, 231, 272.
razionalizzazione dell', 336.
sede della mente nell', 268.
Vedico, e lo schema scientifico, 343.
Uranio, due costituenti dell', 160.
Uranio, prodotti dell', 160, 164.
radio-attività dell', 135.
Urano, inclinazione dell'orbita di, 198.

Valenza, legami di, pari a tubi di Faraday, 219.
spiegazione di, variabile, 218.
Variazioni, influenza della mente in un organismo per l'effettuarsi di, nella progenie, 317.
Varley suppone che i joni siano particelle elettrizzate, 24.
Vedas, filosofia dei, 342.
Vega, 175.
Velocità, definizione, 27.
Venere, moto anomalo dei nodi di, 236.
Vettoriale, grandezza, definizione, 8.
Villard, raggi gamma, 158.
Vines, S. H., genealogia della vita organica, 316.
Violle, temperatura dell'arco elettrico, 122.
Vita, criterio di Spencer della, 296.
origine della, spiegata per mezzo della mente universale, 303.
Voigt, suggerimento della teoria degli elettroni, 24, 66.
Volontà, la, nuova luce sul problema del libero arbitrio o del determinismo della, 297.
Volt, il, definizione, 33.
Volta, conduttività di gaz prodotta da fiamme, 118.
pile primarie, 22.
Voltametro, definizione, 23.
Vortici, anelli, o atomi di Lord Kelvin, 65.
Vries (de), ipotesi delle mutazioni, 317.
Vulcanica, polvere, altezza delle nuvole di, 186.
Vuoto, scarica in un tubo, 124.

Wallace, linee di demarcazione nell'evoluzione organica, 322.
sviluppo embrionale, 321.
variazioni, 317.
Walter, S., gemme artificiali, 148.
Warburg, potenziale minimo della scarica da punte, 121.
Watt, il, definizione, 33.
Weber, elettro-dinamometro, 15.
misurazione elettrica, 29.
teoria elettrica, 46, 47.
teoria di induzione magnetica, 12.

Digitized by Google

Weston, pila normale di, 43.
Whetham, uranio e radio, 166.
Wien, raggi canali, 128.
rapporto della carica alla massa dei joni gazosi positivi, 115.
velocità di propagazione di gravitazione, 240.
Wilson, C. T. R., condensazione mediante i joni negativi gazosi, 115.
dispersione elettrica attraverso i gaz, 109.
radio-attività della pioggia, 142.
Wilson, W. E., radio-attività solare, 174
Wollaston, rifrazione doppia, 76.
Wood, A., radio-attività diffusa, 144.

Young, penetrazione dell'etere nella materia, 98.
propagazione lineare della luce, 70.
vedute di Newton circa l'etere, 89.

Zeleney, velocità dei joni gazosi, 112.
Zenit, definizione, 94.
Zöllner, F., ipotesi di gravitazione, 242.

Digitized by Google

ERRATA-CORRIGE

Pagina	*Linea*	*Errata*	*Corrige*
XXIII	ultima	grano	gran
XXXI	7	Risposta dell'elettrico —	Rispondenza elettrica —
XXXI	34	Il neon	L'elio
8	10	Coloumb	Coulomb
10	15	la *linea integrale* di **E**	l'*integrale della linea* **E**
29	18	quelli	quelle
30	13	unità-carico	unità di carica
30	14	centimetro;	centimetro,
37	10	ono	sono
46	8	Capo XIV,	Capo XVI,
46	32	Newmann	Neumann
67	1	gli sforzi frapposti,	gli spazi frapposti,
67	2	le trazioni	gli sforzi
87, 89, 91	Intestaz.	PER I MODI	PER I MOTI
92	nota	Capo XIV,	Capo XVI,
93	21	Capo XIV	Capo XVI
97	32	Sir George Airey ebbe	Sir George Airey non ebbe
106	15	pef	per
127	14	che è di già	egli è di già
131	22	dimostrato	dimostrata
133	27	componenle	componente
134	titolo	Fenonemi	Fenomeni
135	2	stati	state
135	34	quelli dimostrati	quelle dimostrate
145	13–14	Egli trovò l'assorbimento	Egli trovò ché l'assorbimento
155	18	esso	esse
156	23	e von Schweidler e Becquerel.	e von Schweidler, e Becquerel.
168	17	Boltwoop	Boltwood
170	3	m. 1.50	m. 1.80
176	12	vuoto	deserto
188	10	raggiungano dimensione	raggiungano una dimensione
189	32	altitudine	latitudine
198	3	Uranio	Urano
199	6. 12. 16 20. 26	bilione (*oppure*) bilioni	trilione (*oppure*) trilioni
202	16	bilioni	trilioni
211	13	Ætomized	Atomized
221	28	cinquantamilabilionesima parte	cinquantamilatrilionesima parte
237	22	un milione di bilioni di trilioni	un trilione di trilioni di quinquilinio

Digitized by Google

Pagina	*Linea*	*Errata*	*Corrige*
237	27	mille milioni di bilioni	un bilione di trilioni
240	9	212,	236,
243	4	darticelle	particelle
243	26	$R^2/_8\pi$	$R^2/8\pi$
248	14	un bilione	un trilione
258	17	suppoizione	supposizione
260	21	un trilione	un trilione
286	32	biologisti	biologi
288	31	e la necessità	e della necessità
294	30	dl	di
295	ultima	eccettochè tra le	eccettochè lo stadio tra le
297	33	ossi	essi
299	19	essa per	essa sia per
303	27	che la scienza affermi o neghi	che la scienza nè affermi, nè neghi
317	2	costante	costanti
317	6	di specie essenziali	delle specie, essenziale
318	14	incapace	capace
318	32	sir	Sir
322	3	profersor	professor
348	12	un *minimum* di entropia, in cui	un *minimum* di entropia — nel quale principio
348	22	del di lui sviluppo	del proprio sviluppo
351	10	rappresetnazioni	rappresentazioni
354	30	(vedere, ad esempio, pag. 245).	(vedere, ad esempio, pag. 68 e 269).
378	40	Huggens	Huygens
381	50	controversiatra	controversia tra
383	28	307	367
383	5	Röntzgen	Röntgen

Avvertenza. — Varii sono i sistemi di nomenclatura delle unità di ordini superiori al milione. Nell'aritmetica s'insegna che in Italia, secondo il sistema metrico decimale francese, il bilione (o miliardo) vale mille milioni, il trilione vale mille bilioni, e così via procedendo oltre. Ma per un uso invalso, e corroborato a sproposito dall'autorità dei nostri dizionari, al bilione si attribuisce pure il valore di un milione di milioni, al trilione quello di un milione di bilioni, e così oltre. Questo è pure il sistema inglese; ed è perciò che il traduttore aveva conservato nel testo italiano le stesse denominazioni inglesi. Senonchè appare a pag. 237 un disaccordo tra la grandezza espressa con 10^{42} e quella enunciata in tutte lettere, la quale, secondo il sistema inglese, dovrebbe esprimersi con 10^{36}. Peraltro l'esponente 42 non è erroneo, come potrebbe supporsi, poichè corrisponde a 21×2, di cui si tratta nella stessa pagina. Devesi dunque ammettere che il Prof. De Tunzelmann segue un terzo sistema: quello di passare da una unità di ordine inferiore a quella superiore di nome diverso colla seconda potenza della prima. E così si avrà: mille volte mille = un milione; un milione di milioni = un bilione; un bilione di bilioni = un trilione. Per tal modo l'espressione: un milione di bilioni di trilioni corrisponde precisamente a 10^{42}.

Nelle presenti correzioni furono dati tutti codesti valori colla vera nomenclatura che deve essere in vigore in Italia, come lo è in Francia senza alcuna contestazione; quella cioè del sistema metrico decimale, presso di noi legalmente adottato.

(*Il traduttore*).

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google